«РЕМОНТ» № 50

Д.А. Соснин

АВТОТРОНИКА

электрооборудование и системы бортовой автоматики современных легковых автомобилей

Учебное пособие

Современное электрооборудование

Системы впрыска бензина

Электронное управление двигателем

Автоматика гидротормозов и КПП

Противоугонная защита

...

Цветные рисунки и схемы!



«СОЛОН-Р»

Московский государственный автомобильно-дорожный институт (технический университет)

13 декабря 1930 года постановлением Совета Народных Комиссаров СССР на базе автодорожного факультета Московского института инженеров транспорта был создан Московский автомобильно-дорожный институт (МАДИ).

Уже в 1931 году институт выпустил 36 инженеров-дорожников высокой квалификации. В 1940 году МАДИ окончили 350 человек, которые получили дипломы не только по дорожно-строительной специальности, но и по ремонту и эксплуатации автомобилей. Так сложился основной профиль института автомобильно-дорожный.

В 1992 году Московский автомобильно-дорожный институт получил статус Государственного технического университета и встал в один ряд с такими крупнейшими московскими вузами, как МГТУ им. Баумана, Московский энергетический институт (МЭИ), Московский авиационный институт (МАИ) — тоже теперь техническими университетами.

В наши дни МАДИ(ТУ) — это ведущий учебный и научно-методический центр по подготовке высококвалифицированных инженеров и ученых для нужд автомобильного транспорта, для дорожного, мостового и аэродромного строительства, для ряда новых автомобильно-дорожных отраслей, зародившихся в условиях рыночной экономики.

Институт выпускает инженеров-механиков и электромехаников, инженеров-экономистов и системотехников, инженеров по эксплуатации и ремонту автотранспорта, инженеров по организации и безопасности дорожного движения, программистов и других специалистов по 21-ой современной специальности, готовит офицеров в резерв для Российской армии. При желании студенты старших курсов могут получить начальную научную подготовку бакалавра, а по окончании института защитить диссертацию на степень магистра.

Подготовка специалистов ведется по дневной, вечерней, а с 2000-го года, и по заочной формам обучения. На базе МАДИ(ТУ) создан Московский центр автомобильно-дорожного образования (МЦАДО), в который входят 44 школы, 4 лицея, 3 колледжа и 1 гимназия. МЦАДО осуществляет довузовскую подготовку учащихся Москвы и Московской области.

Сегодня в институте обучается около 8000 студентов. В их распоряжении 15 факультетов, 55 кафедр, 6 филиалов кафедр на Московских производственных предприятиях и 4 институтских филиала в других городах России, загородная учебно-производственная база, два полигона, центр инженерной подготовки, центр русского языка, учебно-исследовательский центр, концертно-актовый зал, 5 кинозалов, 11 телефицированных лабораторных и учебных классов, современный учебный вычислительный центр, два спортзала, 8 спортивных секций, курсы по обучению водительскому мастерству, учебная и научно-техническая библиотека, в которой около одного миллиона экземпляров литературы на русском и на ряде иностранных языков, студенческая медицинская поликлиника, современное студенческое общежитие гостиничного типа.

Профессорско-преподавательский и научный коллектив института последние 18 лет возглавлялся ректором института, членом-корреспондентом Российской академии наук, доктором технических наук, профессором Валентином Николаевичем Луканиным. 13 марта 2001 года институт отметил его 70-летие. 22 мая сего года состоялись выборы нового ректора МАДИ (ТУ). Им был избран президент Российского мониторингового комитета по инженерной педагогике, первый вице-президент Ассоциации инженерного образования России, лауреат премии Президента Российской Федерации, доктор технических наук, профессор Вячеслав Михайлович Приходько.

В МАДИ(ТУ) работают 1140 ученых и педагогов высокой квалификации. Среди них 3 члена-корреспондента РАН, 44 академика отраслевых российских академий, 28 заслуженных деятелей науки РФ, 165 профессоров и докторов наук, 516 доцентов и кандидатов наук, 212 ассистентов и преподавателей. Учебно-вспомогательный и административно-хозяйственный персонал института — 815 человек.

Для подготовки научных и педагогических кадров в МАДИ(ТУ) имеются: 9 вузовских НИИ, 7 научных отделений, очная и заочная аспирантура. Руководство научными работами и аспирантами осуществляют ведущие ученые, профессора и заведующие кафедрами института. Факультетским и объединенным советом института дано право принимать к защите кандидатские и докторские диссертации. Имеется возможность для завершения научной работы в докторантуре.

Для повышения квалификации сотрудников автотранспортных и дорожно-строительных предприятий, а также для преподавателей высших и средних учебных заведений автомобильно-дорожного профиля при МАДИ(ТУ) открыт Институт повышения квалификации. ИПК при МАДИ(ТУ) окончило более 6500 человек.

За прошедшие 70 лет в МАДИ(ТУ) подготовлено свыше 50000 инженеров, 1700 кандидатов и 240 докторов наук. Среди них есть широко известные имена. В прошлом это: замнаркома автотранспорта РСФСР С.П. Артемьев, министр автомобильной промышленности СССР В.Н. Поляков, министр автомобильных дорог РСФСР А. А. Николаев, ректор МАДИ Л.Л. Афанасьев и многие, многие другие. Все они в разные годы окончили МАДИ. Выпускником МАДИ является и нынешний руководитель Российского правительства премьер-министр М.М. Касьянов.

В МАДИ(ТУ) подготовлено 2500 специалистов, 130 кандидатов и 15 докторов наук для 70-ти зарубежных стран.

Вступив в свой 71-ый год плодотворной работы, который совпадает с первым годом нового тысячелетия ректорат, профессорско-преподавательский, учебно-вспомогательный и административно-хозяйственный персонал МАДИ(ТУ) смотрит в будущее с оптимизмом: в трудные годы перестройки, на переломе людских судеб коллектив института продолжал трудиться, сохранил свой потенциал и своих студентов.

Сегодня как и прежде говорят: «Учиться в МАДИ престижно и интересно. Мадиец — это звучит достойно».

70-ти летняя история МАДИ(ТУ) — тому свидетель.

Д. А. Соснин

АВТОТРОНИКА

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И СИСТЕМЫ БОРТОВОЙ АВТОМАТИКИ СОВРЕМЕННЫХ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Учебное пособие специалисту по ремонту
и владельцам автомобилей

СОЛОН-Р
Москва 2001



Посвящается
70-летию
МАДИ (ТУ)

УДК 629.113.066
ББК 39.33-04

Соснин Д. А.

Автотроника. Электрооборудование и системы бортовой автоматики современных легковых автомобилей: Учебное пособие. М.: СОЛОН-Р, 2001, 272 с.

В учебном пособии в популярной форме изложены основные сведения о конструктивных особенностях, принципах действия, эксплуатационных характеристиках электрооборудования и систем бортовой автоматики современных легковых автомобилей. Описаны составные компоненты систем, диагностирование и ремонт некоторых из них.

Учебное пособие написано по конспекту лекций, читаемых автором для студентов старших курсов автотранспортного факультета МАДИ (ТУ) в рамках элективной дисциплины "Электрическое и электронное оборудование импортных автомобилей". Однако, книга ориентирована не только на вузовскую аудиторию, но и на самостоятельное изучение новой автомобильной техники как специалистами по ремонту современных легковых автомобилей, так и ремонтниками-автолюбителями. Может быть полезна студентам технических ВУЗов, слушателям автомобильных колледжей, учащимся старших классов средней школы.

Цв. ил. 239. Табл. 31. Библиогр.: 21 назв.

Рецензент: д-р техн. наук, профессор Воробьев В. А.
Консультант: Митин В. А.

ISBN 5-93455-087-X



Дмитрий Александрович Соснин родился в 1935 году в Ростове-на-Дону. Учился в Ленинградской Военной Краснознаменной инженерной академии связи (ВКИАС) им. С.М. Буденного. После увольнения в запас окончил Московский электротехнический институт связи (МЭИС). Работал в радиопромышленности. Принимал участие в разработках и испытаниях электронных систем управления для специальной военной техники. Мастер спорта и тренер по автоспорту. В настоящее время высококвалифицированный преподаватель высшей школы. Доктор электротехники. Разработал и внедрил в учебный процесс новую техническую дисциплину "Автотроника" в Московском автомобильно-дорожном институте (техническом университете), в Московском учебном центре Департамента труда и занятости Правительства Москвы, на Автопредприятии № 1 при Управлении делами Президента РФ. Член редакционной коллегии научно-технического журнала "Ремонт и Сервис" — коллективного члена Академии электротехничсеких наук Российской Федерации.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современная наука об автомобильном бортовом оборудовании развивается в двух направлениях: в направлении поиска способов улучшения параметров и характеристик существующих устройств, систем, аппаратов и приборов; в направлении разработки новых функциональных узлов, систем и блоков для нужд автоматизации и механизации рабочих процессов на автомобиле.

Так, на базе научных исследований за короткий исторический срок реализовано кардинальное усовершенствование классического электрооборудования, а также создан целый ряд совершенно нетрадиционных для автомобиля бортовых систем автоматического управления.

Это стало возможным благодаря достижениям в области полупроводниковой и микроэлектронной технологии изготовления электросхем, которые составляют немалую часть автомобильного бортового оборудования.

• Теперь автомобили оснащаются не электроконтактными (батарейными), а чисто электронными системами зажигания. Автомобильная бортовая система электроснабжения оборудуется генератором многофазного переменного тока с мощным полупроводниковым выпрямителем и с интегральным регулятором напряжения. Электростартер автомобиля также значительно видоизменился. Самым "консервативным" компонентом в составе классического электрооборудования остается бортовая аккумуляторная батарея. Но и здесь есть новые наработки. Изменился дизайн, повысилась эффективность наружной световой техники. Основные технические достижения, внедренные в устройства классического электрооборудования, подробно рассматриваются в главах 1...12.

Наряду с усовершенствованием известных бортовых устройств разработаны и в настоящее время все более широко применяются совершенно новые системы бортовой автоматики, основные из которых следующие: системы впрыска топлива для бензиновых двигателей; микропроцессорные системы зажигания; системы очистки выхлопных отработавших газов; системы антиблокировки гидравлических тормозов; системы вспомогательной механизации в устройствах комфортного назначения.

• Совокупность систем автомобильной бортовой автоматики получила наименование "Автотронное оборудование". Автотронное оборудование изучается в рамках новой учебной дисциплины "Автотроника", которая теперь преподается в технических вузах и в ряде средних специальных учебных заведений.

В отличие от электрического и электронного, автотронное оборудование по основному (физическому) принципу действия не классифицируется. Например, нельзя говорить "электрическое автотронное оборудование" или "гидравлическое автотронное

оборудование", так как термин "автотронное" — это синоним таких обобщающих определений, как "комбинированное" или "комплексное".

Автотронное оборудование автомобиля состоит из отдельных автотронных систем, которые в свою очередь состоят из отдельных составных частей (компонентов).

Автотронные системы принято классифицировать по основной исполнительной функции. Например: автотронная система впрыска топлива; автотронная система антиблокировки тормозов; автотронная система очистки выхлопных отработавших газов и т.д.

Компонентами автотронных систем могут являться самые разнообразные технические устройства, отличающиеся друг от друга как по принципу действия, так и по конструктивному исполнению. Это могут быть и электрические, и электронные, и электронно-вычислительные, и механические, и пневматические, и гидравлические, и любые другие технические изделия, способные выполнять соответствующие функции автотронной системы.

Автотронные системы имеют одно общее свойство — они управляют неэлектрическими процессами, но сами управляются от электронной автоматики, при этом первичными источниками управляющих сигналов являются человек (водитель), программа, заложенная в электронную память, и входные неэлектрические воздействия.

Каждая автотронная система имеет широко разветвленную периферию и электронно-вычислительный блок управления с постоянной и оперативной памятью — бортовой компьютер. Для согласования входной периферии с компьютером и компьютера с выходной периферией применяется интерфейсная (соединительная) подсистема.

Из сказанного ясно, что автотронная система — это бортовой комбинированный комплекс автоматического управления, включающий в свой состав различные технические устройства, которые соединены в единое целое с целью выполнения конкретного неэлектрического действия. Например, автотронная система впрыска топлива — это не только электронный блок управления впрыском, и не только электрическая схема соединений, но и входные датчики, работающие от неэлектрических сигналов первичных задатчиков; это и сами неэлектрические задатчики с механическими соединителями; это выходные исполнительные устройства неэлектрического принципа действия, например форсунки впрыска, а также все гидравлические и пневматические клапаны системы; это и механическое устройство привода дроссельной заслонки при работе двигателя на холостом ходу. В автотронной системе впрыска с электронным управлением электрические сигналы (как на входе, так и на выходе) выполняют роль промежуточных (опосредованных) носителей информации для неэлектрических устройств (внешней периферии). При этом сама неэлектрическая периферия выполняет основные функции автотронной системы впрыска: дозирование количества впрыскиваемого бензина при изменении неэлектрических параметров двигателя или под воздействием водительской педали газа. Описанию автотронных систем и их составных компонентов посвящены главы 13...27.

- В приложении рассмотрен двигатель внутреннего сгорания как объект автоматического управления. Это позволит читателю легко ориентироваться в сложных вопросах взаимосвязи силового агрегата автомобиля с бортовыми автотронными системами.

- Книга написана по конспекту лекций, читаемых автором для студентов Московского автомобильно-дорожного института (Технического университета) и в ряде других учебных заведений. Но изложение материала в данной книге ориентировано не только на вузовскую аудиторию, но и на самостоятельное изучение новой автомобильной техники и специалистами по ремонту современных легковых автомобилей, и ремонтниками-автомобилистами. В качестве дополнительной учебной литературы книга будет полезна студентам технических вузов. Она будет интересна также слушателям автомобильных колледжей, любознательным учащимся средней школы, владельцам импортных и современных отечественных легковых автомобилей. Словом, такая книга — это подспорье каждому, кто захочет познать все то новое, чем оборудован современный легковой автомобиль.

- В работе над учебным пособием автор учел замечания и полезные советы кандидатов технических наук Фещенко А.И. и Попова О.Ю. (преподаватели МАДИ-ТУ), ведущего специалиста по "Автотронике" Московского учебного центра КТиЗ Правительства Москвы Триодина Н.П., начальника технического отдела Автопредприятия № 1 при Управлении делами Президента РФ Быкова В.И., научного консультанта журнала "Ремонт и Сервис" Митина В.А. Всем перечисленным коллегам автор выражает глубокую признательность за сотрудничество.

Особая благодарность рецензенту книги, заведующему кафедрой "Автоматизация производственных процессов" МАДИ-ТУ, доктору технических наук, профессору Воробьеву В. А. за прочтение и принципиальные исправления рукописи книги.

Издательство "СОЛОН-Р" полагает, что учебное пособие "Автотроника", написанное опытным преподавателем технического университета, вызовет широкий читательский интерес, как у специалистов по ремонту автомобилей, так и у автолюбителей.

"СОЛОН-Р"

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Современный легковой автомобиль состоит из четырех основных агрегатов: двигателя, кузова, шасси и ходовой части. Эти агрегаты обеспечивают выполнение главной функции легкового автомобиля — перевозку пассажиров. Но для того, чтобы перевозка была безопасной и комфортной, а основные агрегаты работали безотказно, автомобиль оснащен достаточно большим числом самых разнообразных устройств, которые принято называть бортовым оборудованием. Во введении рассматриваются общие сведения об автомобильном оборудовании и тенденции его развития.

В.1. Предварительные замечания

Бортовое оборудование по функциональному назначению и по месту, которое оно занимает, можно подразделить на комфортное (внутреннее оборудование кузова), навесное (оборудование двигателя) и функциональное (оборудование кузова, шасси и ходовой части).

По принципу действия и устройству бортовое оборудование может быть механическим, пневматическим, гидравлическим, электрическим, электронным и автотронным.

По выполняемым функциям устройства, входящие в состав автомобильного бортового оборудования, исключительно разнообразны. Работа многих из них связана с необходимостью использования какого-либо вида энергии. Самым удобным видом энергии для применения на борту автомобиля является электрическая энергия. Поэтому значительная часть бортового оборудования относится к электрооборудованию автомобиля.

- Для обеспечения электроэнергией автомобиль оснащен автономной бортовой электроэнергетической системой, которую принято называть системой электроснабжения. В эту систему входят: бортовая аккумуляторная батарея, электрогенератор, а также подсистема соединительных проводов с моноблоком предохранителей и набором коммутационных устройств. Таким образом, эта система представляет собой электрическую бортовую сеть.

- Второй электроэнергетической частью бортового оборудования является система электростартерного пуска двигателя внутреннего сгорания. В эту систему входят: стартерный электродвигатель, механическая подсистема передачи вращения от электродвигателя к двигателю внутреннего сгорания, стартерная аккумуляторная батарея, подсистема управления стартером и большеточные соединительные электропровода.

- В электрооборудование автомобиля входит также система электроискрового зажигания (если на автомобиле установлен бензиновый двигатель), которая преобразует энергию постоянного тока бортовой сети в импульсное напряжение высоковольтного искрового разряда на свечах зажигания.

- Перечисленные электротехнические устройства принято относить к навесному оборудованию двигателя, так как все они (кроме аккумуляторной батареи) установлены на двигателе. К навесному оборудованию относятся также некоторые устройства системы топливного питания, например карбюратор с воздушным фильтром или форсунки впрыска топлива, а также подсистема выпуска отработавших газов.

- К комфортному оборудованию кузова относят подсистему электроподогрева сидений; внутреннее освещение и отопление; вентиляцию и кондиционирование; электроприводы стеклоподъемников, люка на крыше, радиоантенны; центральный замок дверей; прикуриватели; средства противоаварийной защиты водителя и пассажиров, а также все средства теле-аудио-видео-радио и телефонной техники. В комфортное оборудование включают также и противоугонные устройства *.

- Третьей группой бортового оборудования автомобиля является так называемое функциональное оборудование. По отношению к кузову функциональное оборудование — это все устройства наружного освещения и сигнализации, наружные зеркала, остекление кузова, стеклоочистители и стеклоомыватели, бампера, молдинги и прочее. Из этой группы в электрооборудование включают систему наружного освещения, приборы наружной световой и звуковой сигнализации, а также электропривод и электроподогрев наружных зеркал заднего вида.

Внутри кузова к функциональному электрооборудованию относятся контрольно-измерительные приборы, водительский пульт управления, внутренняя световая и звуковая сигнализация.

** Почти все устройства комфортного оборудования для завода, выпускающего автомобиль, являются покупными изделиями, и при рассмотрении бортового оборудования, как правило, не описываются.*

Немалая часть функционального оборудования установлена на шасси и на ходовой части автомобиля. Здесь устройства функционального оборудования в основном механического или гидромеханического принципа действия. Прежде эти устройства рассматривались как составные части механических агрегатов и никакой автоматикой не оснащались. Но в последние годы чисто механические устройства (коробка переключения передач, гидравлические тормоза, подвеска автомобиля) автоматизируются с применением электронного управления. Появились совершенно новые устройства и системы, созданные с использованием всех известных (электрических и неэлектрических) способов и средств автоматизации. Такие устройства и системы теперь являются неотъемлемой составной частью общего комплекса автоматизированного бортового оборудования и называются автотронными.

В.2. Классификация автомобильного бортового оборудования по поколениям

Развитие автомобильного бортового оборудования идет по двум направлениям: по пути дальнейшего совершенствования существующих и по пути конструирования и построения совершенно новых электрических, электронных и автотронных устройств.

Усовершенствованию подлежит так называемое классическое* электрооборудование, которое теперь относят к электрооборудованию первого поколения.

Вторым поколением принято считать электрические узлы, блоки и системы, в которых широко используется дискретная электронная схемотехника на полупроводниковых приборах.

Начало развития второго поколения приходится на 50-е годы XX века, когда бортовая комплектация автомобиля электрическими устройствами стала заметно расширяться. Появились самые разнообразные электротехнические средства дополнительной бортовой механизации: электрозеркала, электроантенны, электрические стеклоподъемники, электролюки, электроустановка и электроподогрев сидений, электровентиляторы, кондиционеры и т.п. Управление электросхемами и электроприводами этих устройств потребовало применения в электрических схемах автомобиля значительного количества электромагнитных реле и полупроводниковых приборов, которые к этому времени уже выпускались серийно. Так на борту автомобиля стали применяться средства электроавтоматики и электроники.

** Классическими принято называть такие изделия, которые широко применялись ранее и послужили прототипами для разработки новой современной техники.*

Таким образом, второе поколение автомобильного электрооборудования — это первый этап внедрения полупроводниковых устройств и релейных средств автоматики в автомобильные электросети. Ко второму поколению относят также полупроводниковые выпрямительные схемы электрогенераторов и первые контактно-транзисторные системы зажигания. Сюда же включают электронные и релейные устройства управления вспомогательными бортовыми подсистемами, имеющими общее название "электропакет"*. На автомобиле стало широко использоваться радио.

В последние годы в отечественной промышленности наметилась тенденция к ускоренному внедрению автомобильного оборудования третьего поколения.

Третье поколение — это не только электрическое и электронное оборудование, но и все прочие средства бортовой автоматики, которые стали широко внедряться передовыми зарубежными фирмами с начала 70-х годов. В первую очередь, это электронные системы управления гидромеханикой впрыска топлива и электроискровым зажиганием, а также электронные системы управления гидравлическими тормозами, трансмиссией и узлами подвески автомобиля. К третьему поколению относят и современные электронные устройства бортового контроля и самодиагностики.

Важно заметить, что для оборудования третьего поколения прежний термин "электро" утратил свой определяющий смысл, так как теперь в системах бортовой автоматики, помимо традиционных механических и электрических, стали широко применяться самые разнообразные средства гидравлики, пневмоавтоматики, оптоэлектроники, локации, радиотехники, ультра- и инфразвука, компьютеризации. Так появился термин "Автотроника", объединивший все, что относится к автомобильной бортовой автоматике, а современные комплексные системы автомобиля теперь чаще называют "автотронным оборудованием".

Особенностью автотронного оборудования является то, что оно создается с применением самых разнообразных физических принципов и средств автоматического управления и регулирования, а управляется электронной цифровой автоматикой, в основе которой лежит бортовой компьютер с постоянной и оперативной памятью.

Но фантазии автомобилестроителей этим не ограничиваются. Появились первые признаки применения на автомобиле суперсложной автоматики управления четвертого поколения. Уже опробованы идеи применения систем радарно-компьютерной и спутниковой автонавигации и систем определения

** Электропакет — разговорный технический термин. Широко используется в быту и в газетных рекламных объявлениях. Обозначает совокупность технических устройств вспомогательного (чаще всего комфортного) назначения, которые в состав классического оборудования не включаются.*

координат на местности для упрощения автоматизированного передвижения автомобиля по городским и шоссейным автодорогам, а также для поиска и нахождения нуждающегося в помощи автотранспорта. Для ряда крупнейших городов мира составлены "электронные карты", которые записаны на лазерных дисках. С помощью дисковода, компьютера и цветного дисплея маршрут движения выдается водителю автоматически. Переключается система от реперных меток на местности.

В четвертое поколение бортового оборудования автомобиля, основным признаком которого будет полная компьютеризация процессов управления, регулирования и контроля, войдут также и такие специальные системы, как самоуправление автомобиля в режиме автопилота, самозащита автомобиля от аварийных ситуаций, электронное резервирование функций управления и многое, многое другое.

На рис. В.1 приведена условная классификация автомобильного бортового оборудования по поколениям.

Признаком классификации по поколениям является поэтапное внедрение новой техники:

1. Первое поколение — электрофикация автомобиля; создание классического электрооборудования.

2. Второе поколение — внедрение аналоговой полупроводниковой схемотехники на дискретных радиоэлементах: создание простейших электронных схем для управления электрическими устройствами.

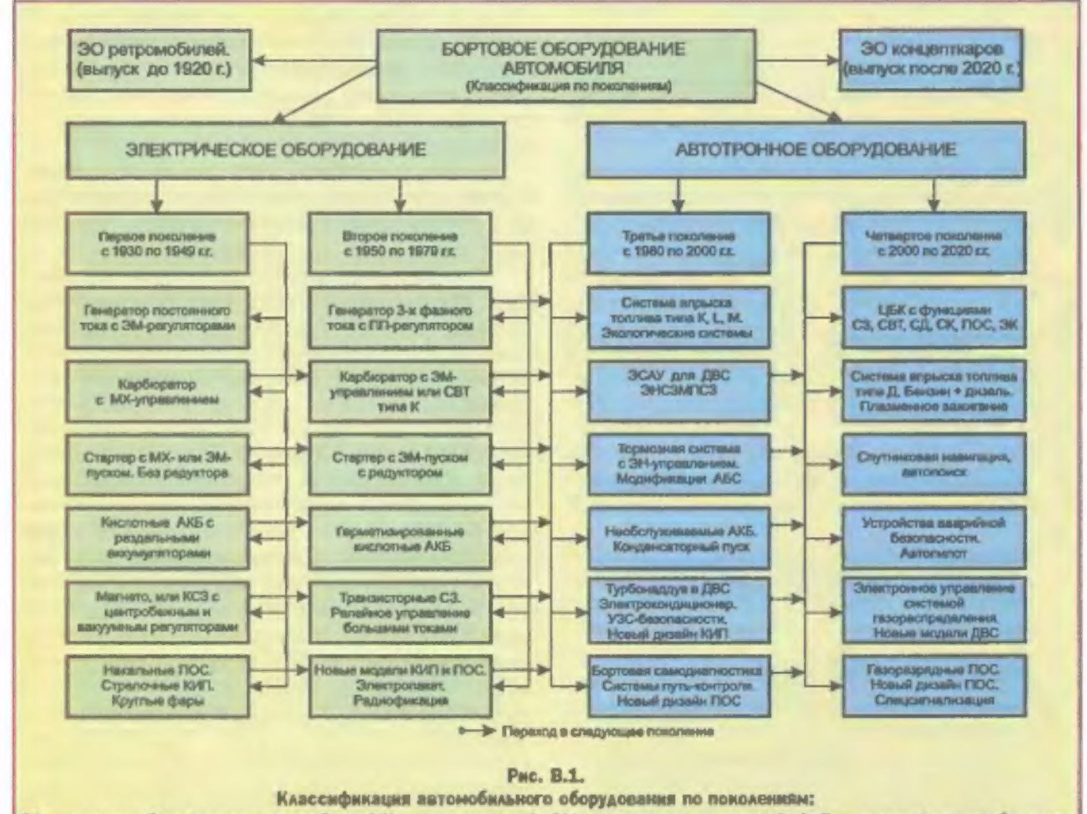


Рис. В.1.
Классификация автомобильного оборудования по поколениям:
ЭО — электрооборудование автомобиля; МХ — механический; ЭМ — электромеханический; АКБ — аккумуляторная батарея; КИП — контрольно-измерительные приборы; ЭН — электронный; СЗ — система зажигания; КСЗ — контактная система зажигания; МПСЗ — микропроцессорная система зажигания; ПП — полупроводниковый; СВТ — система впрыска топлива; АБС — тормозная система с электронным управлением; СД — система диагностики; СК — система путевого контроля; УЗС — ультразвуковая система; ЭСАУ — электронная система автоматического управления; ЭК — экологическая система автомобиля; ПОС — приборы освещения и сигнализации; К —механический непрерывный распределенный по цилиндрам впрыск для смешанного смесеобразования; L — прерывистый распределенный впрыск для внешнего смесеобразования; М — система впрыска, интегрированная в ЭСАУ двигателем; Д — прерывистый распределенный впрыск для внутреннего смесеобразования; ЦБК — центральный бортовой компьютер; ДВС — двигатель внутреннего сгорания.

3. Третье поколение — широкое внедрение на борту автомобиля электронного оборудования цифрового принципа действия. Создание новых систем бортовой автоматики, таких как: электронный впрыск топлива, цифровое управление зажиганием, электронное управление тормозами, экологические системы автомобиля, бортовая самодиагностика, схемотехническое резервирование и т.п.

4. Четвертое поколение — полная компьютеризация процессов автоматического управления, контроля и регулирования с применением центрального бортового компьютера и со значительным расширением выполняемых функций. Оборудование автомобиля радарными средствами. Создание совершенно новых принципов управления автомобилем и его агрегатами.

В.3. Электромобили

Следует сказать отдельно о новых, еще не разработанных моделях автомобилей. Это эвристические модели будущего (концепткары).

В среде автомобилестроителей уже давно дискутируется вопрос о целесообразности широкого использования электромобилей вместо автомобилей.

Классическая схема электромобиля показана на рис. В.2. Схема включает высоковольтную (не ниже 100 вольт) ходовую аккумуляторную батарею ХАКБ, электродвигатель ЭД (либо монотипа, либо колесный — для каждого ведущего колеса отдельно) и устройство управления УУ (контроллер), которое управляет энергией ходовой АКБ при ее подаче к электродвигателю ЭД.

Первоначально считалось, что такой электромобиль предельно прост и вся проблема сведется к разработке новых конструкций ходовой АКБ и электродвигателя ЭД. Но в этой трехзвенной модели не менее сложным оказалось создать устройство управления УУ. Кроме того, было совершенно не ясно, от чего и где можно будет подзаряжать ХАКБ. Стали также подвергать критическому анализу главное преимущество электромобилей перед автомобилями — экологическое. Сначала как аксиома было принято предположение, что электромобиль абсолютно чистое транспортное средство, наподобие троллейбуса без проводов. Однако ходовые батареи и станции их обслуживания сами по себе могут стать источниками ядовитого загрязнения окружающей среды. Нетрудно себе представить, что будет с Москвой, когда хотя бы каждый третий из 3 миллионов столичных автомобилей станет электромобилем. В среднем 20 тысяч тонн сернокислотного электролита, будут кататься по московским улицам. В Москве ежедневно регистрируется до 20-30 аварий с крупными повреждениями автомобилей. В московские реки будет выливаться около тонны серной кислоты в сутки. Значит, и в атмосфере прибавится загрязнений.

ХАКБ → УУ → ЭД

ХАКБ

УУ ЭД

ХАКБ

Рис. В.2.
Классическая схема электромобиля:
ХАКБ — ходовая аккумуляторная батарея; УУ — электронное устройство управления (контроллер); ЭД — ходовой электродвигатель.

К этому надо добавить, что ежедневная подзарядка ХАКБ для одного миллиона электромобилей потребует от Мосэнерго дополнительно электроэнергии еще столько же, сколько оно вырабатывает.

В настоящее время ведется ряд научных разработок в направлении поиска новых химических источников тока (ХИТ). Опробованы на электромобилях и щелочные аккумуляторы, и солнечные батареи, и топливные элементы. Топливные элементы — это одноразовые химические источники тока (ХИТ), которые работают по принципу превращения энергии высокотемпературной химической реакции в электрическую энергию. Обладают малыми габаритами и весом, интенсивной токоотдачей, но непродолжительны в действии. Широко применяются в специальной военной аппаратуре. Для электромобилей могут оказаться перспективными щелочные воздух-алюминиевые топливные элементы, в которых "выгорает" листовой алюминий и в которых можно легко и быстро сменить реагенты. Такой топливный элемент может быть многоразовым. Однако применяемость его в электромобилях ограничена высокой стоимостью катализаторов, входящих в состав воздух-алюминиевых ХИТ, и сложностью реализации многократных остановок химической реакции на непродолжительное время (стояночный режим электромобиля). Однако с использованием перечисленных источников тока достичь для электромобиля уровня технических показателей автомобиля-прототипа пока не удается. Из сказанного ясно, что классический электромобиль — это не автомобиль будущего.

Теперь идет поиск других вариантов. Например, на автомобиль (рис. В.3) устанавливается обычный ДВС (1), но работает он не прямо на ходовую часть, а

на мощный электрогенератор (2). Этот электрогенератор запитывает через электронное устройство управления (3) электродвигатель (4), сочлененный через коробку переключения передач КПП (5) с обычной ходовой частью (7) автомобиля. Возможен и такой вариант компоновки узлов и агрегатов бензоэлектромобиля, при которой на трансмиссию будут работать два двигателя — бензиновый и электрический.

Какие преимущества это дает перед классическим автомобилем?

Во-первых, так как ДВС работает на электрогенератор, режимы ДВС тривиальны: холостой ход, средняя ходовая нагрузка (городской режим движения) и полная нагрузка. Этим трем режимам могут соответствовать три совершенно точных по исполнению своих функций режима работы системы впрыска топлива и электроискрового зажигания. Более того, бензиновый двигатель электромобиля может работать и в стационарном режиме, т.е. с постоянным числом оборотов коленвала.

Одно это позволит получить не только экономию топлива, но главное — более чистый по составу выхлоп отработавших газов. Таким образом, двигатель, работающий без переходных режимов, — первое ожидаемое преимущество бензоэлектромобиля перед обычным автомобилем.

Во-вторых, электрогенератор будет работать не только на электропривод автомобиля, но и на заряд ходовой АКБ. Следовательно, может быть эффективно решена проблема подзарядки ХАКБ.

В тех случаях, когда бензоэлектромобиль будет заезжать в центр города, ему не обязательно двигаться с работающим ДВС. Переключив электропривод на ХАКБ, можно достаточно долго перемещаться от энергии химического источника тока (ХИТ). Дополнительная подзарядка ходовой батареи при торможении может осуществляться и в режиме рекуперации. Рекуперация — возврат части энергии процесса движения для повторного использования. Рекуперативное торможение электромобиля реализуется с помощью ходовой электрической машины, которая переводится из режима двигателя в режим генератора; кинематическая энергия массы движущегося электромобиля преобразуется в электрическую с целью заряда ХАКБ.

Рис. В.3.
Бензоэлектромобиль:
1 — бензиновый ДВС; 2 — электрогенератор; 3 — контроллер (ЭБУ); 4 — ходовой электродвигатель; 5 — коробка переключения передач; 6 — ходовая АКБ; 7 — дифференциал ведущего моста; К — ведущие колеса (движители)

Теперь водителю не надо будет беспокоиться — доедет ли его электромобиль до зарядной станции. Для бензоэлектромобиля емкость ходовой АКБ может быть значительно снижена. А значит, вес, габариты ХАКБ и литраж перевозимого по городу электролита можно будет свести к разумной норме. При меньших габаритах для ХАКБ на борту транспортного средства найдется аварийно безопасное место. Остается одна проблема — утилизация отработавших ХАКБ.

Отечественный завод "Ижмаш" на базе универсального автомобиля ИЖ-21261 создал бензоэлектромобиль с гибридной силовой установкой ДВС+ЭДВ+АКБ (8х12 В) и с параллельным соединением двигателей через специальный редуктор. Экспериментальные образцы выпускаются с 1998 года. Недостатки: высокая стоимость, малый запас электрохода (12 км); возможность попадания агрессивной среды в салон, отсутствие багажного отделения, тяжелее прототипа на 120 кг, небольшая мощность энергоустановки, низкая приемистость. Преимущества: уменьшенный расход бензина 3 л/100 км (у прототипа 6,5 л/100 км).

Что же может статься с бортовым оборудованием будущего бензоэлектромобиля? Ясно, что роль бортовых электрических устройств резко возрастет. Особенно это касается устройств ходового электропривода и его управления. Некоторые системы видоизменятся, например система стартерного пуска ДВС может стать другой, так как пуск можно будет осуществлять от ходового электродвигателя и бортовой ХАКБ. Навесное оборудование ДВС (впрыск топлива, зажигание, утилизация отработавших газов) может упроститься, так как число рабочих режимов ДВС будет ограничено. Что касается навигационного и комфортного оборудования, оно может и не претерпеть изменений. Возможно, приобретут большее значение электросистемы внутрисалонной вентиляции, изменится конструкция самого кондиционера, будут установлены аварийные средства пожарной безопасности и защиты от короткого замыкания в электрических цепях больших токов.

Однако не исключено и такое развитие событий, при котором электромобильная схема силового привода все-таки не найдет широкого применения на легковых автомобилях. Альтернативой электромобилю может стать автомобиль с двигателем на водородном топливе. Или будет разработан настолько совершенный легкотопливный двигатель, что его замена на автомобиле станет нецелесообразной. Так, если будет разработан бензиновый двигатель с чисто электронным управлением клапанами газораспределительно-

го механизма, то в совокупности с уже разработанными микропроцессорными системами управления впрыском топлива, зажиганием и экологией двигателя это позволит сократить расход бензина до 2,5 л/100 км пробега, при объеме двигателя не менее 1600 см^3. Такому бензиновому двигателю не может быть разумной альтернативы при его установке на легковом автомобиле в ближайшие 30-50 лет.

В.4. Электроника на автомобиле

Первым электронным устройством на автомобиле был ламповый радиоприемник. Питание анодных цепей радиоламп требует применения высокого напряжения (не менее 100 В). Такого напряжения в бортсети автомобиля нет. Его получали с помощью электромеханического вибропреобразователя, который формировал на первичной обмотке повышающего трансформатора переменное по величине (прерывистое) напряжение 12 В. На вторичной обмотке трансформатора получали требуемое высокое напряжение. Включение лампового приемника во время длительной стоянки автомобиля не допускалось, так как даже простейший трехламповый радиоприемник с вибропреобразователем потреблял от аккумуляторной батареи не менее 50 Вт.

После промышленного освоения полупроводниковых приборов (начало 50-х годов) автомобильные радиоприемники стали транзисторными, с прямым питанием от бортсети автомобиля. На правительственных автомобилях и на автомобилях высокого потребительского класса появились первые радиотелефоны. Но все это прямого отношения к автомобильной электронной автоматике не имело.

Первая автомобильная электронная схема управления была внедрена в электроискровую систему зажигания: контактная пара прерывателя в цепи первичного тока была заменена мощным транзистором, который по базе управляется от прежней контактной пары (см. далее рис. 1.8, а).

С появлением мощных и высоконадежных полупроводниковых диодов стало возможным применение на автомобилях бесколлекторных генераторов переменного тока. А с применением полупроводниковой схемотехники регуляторы напряжения автомобильных генераторов стали чисто электронными (см. далее главу 7).

Дальнейшее развитие электронной полупроводниковой автоматики управления позволило полностью отказаться от электромеханических устройств в автомобильной системе зажигания. Их заменили бесконтактные преобразователи неэлектрических величин в электрические сигналы (бесконтактные датчики). Так появились чисто электронные системы зажигания (см. далее рис. 1.8, г).

Электронная автоматика оказалась настолько универсальной, что помимо электроискрового зажигания с ее помощью стало возможным управление и системой топливного питания, и системой нейтрализации отработавших газов, и системой утилизации паров бензина из бензобака, и системой управления двигателем на холостых оборотах, и системой запуска холодного двигателя, и многими другими системами, функционирование которых связано с работой автомобильного двигателя.

В настоящее время автомобильное электронное оборудование настолько разнообразно, что рассматривать его лучше в составе конкретных бортовых систем автоматического управления. Следует только иметь ввиду, что электроника на современном легковом автомобиле — это комплекс технических средств, предназначенных в основном для работы в информационных (низкоуровневых), а не в исполнительных (высокоэнергетических) контурах управления. Другими словами, электроника применяется там, где требуется зафиксировать, преобразовать, обработать, передать, запомнить, вычислить или закодировать текущую информацию о технических параметрах устройств и агрегатов автомобиля.

Там, где приходится иметь дело с прямым или обратным высокоуровневым энергетическим преобразованием, используются электротехнические устройства.

Однако на современном автомобиле задачи автоматизации управления с применением электрического и электронного оборудования могут быть решены только частично.

В.5. Автотронное оборудование автомобиля

Современный легковой автомобиль должен быть экономичным, экологически чистым, элегантным, высоконадежным, комфортабельным и высокоскоростным транспортным средством. Чтобы обеспечить такие требования, на современном автомобиле, помимо классического оборудования, устанавливаются новейшие средства автоматического управления, контроля и регулирования. Теперь помимо рабочих процессов двигателя автоматизируются и гидротормоза, и агрегаты ходовой части, и механическая подвеска, и сам процесс движения автомобиля. Таким образом современная бортовая автоматика включает в свой состав не только электрические, электронные, механические, но и прочие самые разнообразные по принципу действия технические устройства. Ясно, что системы автоматического управления, составленные из таких различных устройств, не могут относиться ни к одному из прежних видов бортового оборудования. Так появился новый технический термин: "Автотронное оборудование автомобиля". Этим

термином обозначают новейшие изделия автомобильной бортовой автоматики управления, контроля и регулирования.

Автотронное оборудование, которое изучается в новой специальной учебной дисциплине "Автотроника"*, — это совокупность комплексных автоматических систем управления, контроля и регулирования, установленных на автомобиле. Сама автоматическая система в этом случае называется автотронной.

Автотронная система представляет собой сложный многофункциональный бортовой комплекс, состоящий из самых разнообразных по принципу действия и устройству компонентов, которые объединены в единое целое с целью выполнения заданной функции управления, контроля или регулирования.

В автотронную систему могут входить и механические, и гидравлические, и пневматические, и электрические, и электронные и любые другие устройства.

Главной особенностью автотронной системы являются обязательное наличие в ее составе электронного блока, который управляет всеми остальными составными частями (компонентами) системы.

Электронный блок управления (ЭБУ) может работать как в аналоговом, так и в дискретном или цифровом режиме, но он всегда "имеет дело" с электрическими сигналами. Для согласования сигналов и воздействий, имеющих разную энергетическую природу, ЭБУ автотронной системы по входу оснащен преобразователями неэлектрических воздействий в электрические сигналы (различные входные датчики), а по выходу — обратными преобразователями электрических сигналов в неэлектрические воздействия (исполнительные устройства). Входные и выходные преобразователи составляют внешнюю периферию электронного блока управления и одновременно являются компонентами автотронной системы.

Когда на выходе ЭБУ энергетическое преобразование не требуется, применяются выходные электронные усилители электрических сигналов. При этом исполнительное устройство может представлять собой отдельную, достаточно сложную систему управления неэлектрического принципа действия, в которой электрический исполнитель является лишь активатором основного действия.

По схемотехническому исполнению автотронная система может быть как разомкнутой, так и замкнутой системой автоматического управления. В последнем случае в автотронной системе используются самые разнообразные задатчики сигналов обратной связи.

В большинстве случаев современная автотронная система выполняет свои функции по заранее заданной программе, и поэтому в ЭБУ всегда имеются запоминающее устройство и микропроцессор, в которых теперь чаще всего применяются число-импульсные методы и средства обработки информации (ранее в автомобильных электронных системах управления, например в системе зажигания, применялись и аналоговые вычислительные устройства).

Другой особенностью автотронной системы является ее "узкая специализация". Впрочем, это свойство присуще любой системе бортового оборудования. Однако на основе нескольких автотронных систем могут создаваться большие бортовые комплексы автоматического управления, регулирования и контроля с обслуживанием от общего универсального центрального бортового компьютера (УЦБК). Такие комплексы дополнительно включают в себя бортовой информационный терминал (BIT), который обслуживается специальным электронным интерфейсом (бортовым контроллером связи — CAN). Их задача — обеспечивать коммутацию (подключение) периферийных устройств к УЦБК с соблюдением последовательности и приоритета. Первый шаг в этом направлении уже сделан — разработана и широко применяется на легковых автомобилях комплексная электронная система автоматического управления бензиновым двигателем внутреннего сгорания (ЭСАУ-Д). Простейший универсальный электронный блок управления для таких систем серийно выпускается фирмой BOSCH (ФРГ) под названием — авторегулятор "Motronic".

Автотронные системы по своему устройству, назначению, способу обработки информации и исполнению функций уже сегодня являются прототипами будущих полностью компьютеризированных больших универсальных систем автоматического управления, контроля и регулирования на автомобиле. Но в настоящее время на современных легковых автомобилях наиболее распространены не универсальные, а специализированные автотронные системы. К ним относятся:

1. Системы впрыска топлива для бензиновых двигателей.
2. Экологические системы автомобиля.
3. Микропроцессорные системы электроискрового зажигания с дополнительными функциями регулирования.
4. Комплексные электронные системы автоматического управления бензиновым двигателем внутреннего сгорания (ЭСАУ-Д).
5. Электронные системы управления гидравлическими тормозами.
6. Системы электронного управления автоматической коробкой переключения передач.

** Автотроника — это учебная дисциплина, в которой рассматривается полный комплекс всех бортовых систем автоматического управления на современном автомобиле. Вузовскую программу по "Автотронике" разработал автор в 1994 г. В рамках элективного курса объемом в 144 уч. часа "Автотроника" читается студентам автотранспортного факультета Московского автомобильно-дорожного института (МАДИ-ТУ) и в ряде других московских учебных заведений.*

СИСТЕМЫ АВТОМОБИЛЬНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Электрооборудование автомобиля является главной составной частью полного комплекса бортового оборудования. В электрооборудование включают все те бортовые устройства, работа которых непосредственно связана с электричеством. Первыми такими устройствами были магнето и свечи зажигания. Потом на борту автомобиля стали устанавливаться аккумуляторная батарея, электрогенератор и электростартер. Появилось наружное электроосвещение, система зажигания стала батарейной. Перечисленные электрические устройства в совокупности составляют классическое электрооборудование автомобиля. В настоящей книге классическое электрооборудование детально не рассматривается. Желающим подробно ознакомиться с этим разделом можно порекомендовать учебники С.П. Банникова [1], В.Е. Ютта [2] и Ю.П. Чижкова, А.В. Акимова [3]. Однако дать краткий обзор общих принципов построения систем классического электрооборудования здесь необходимо.

1.1. Общие сведения

Существующее на борту автомобиля уже много десятков лет электрооборудование первого поколения теперь называют классическим. В его состав входят следующие функциональные системы:

- Система электроснабжения — электрогенератор, реле-регуляторы, аккумуляторная батарея.
- Система пуска двигателя внутреннего сгорания — стартер, стартерные цепи, аккумуляторная батарея.
- Система электроискрового зажигания — катушка зажигания, прерыватель-распределитель, свечи зажигания с высоковольтными проводами (на автомобилях с дизельным ДВС отсутствует или заменена системой калильного зажигания).
- Система освещения и сигнализации — фары, наружные фонари габаритных огней и световой сигнализации, звуковой сигнал, внутреннее освещение, устройства специальной сигнализации.
- Система контрольно-измерительных приборов, дополнительного и вспомогательного электрооборудования — щиток приборов, водительский пульт управления, электрические провода, предохранительные и релейные моноблоки, коммутационные устройства, а также электроприводные устройства, например стеклоочистители и электровентиляторы.

Перечисленные системы являются неотъемлемой составной частью автомобильной бортовой автоматики и всегда будут присутствовать в ее составе.

За последние 30-40 лет составные компоненты классических систем автомобильного электрооборудования претерпели значительные усовершенствования, но состав самих систем остался прежним. Рассмотрим эти системы.

1.2. Система электроснабжения

В систему электроснабжения современного автомобиля входят: необслуживаемая или монолитная кислотная аккумуляторная батарея (АКБ) и генератор (ГТ) трехфазного переменного тока с мощным полупроводниковым выпрямителем (ВП) и электронным регулятором (Р) напряжения, которые вмонтированы в конструкцию генератора. АКБ подключена встречно-параллельно и непосредственно к выходным клеммам генератора. Эта система обеспечивает электроэнергией все бортовые электропотребители. Применение новых типов аккумуляторных батарей и генератора переменного тока вместо генератора постоянного тока с многоламельным коллекторно-щеточным механизмом, применявшимся ранее совместно с вибрационными реле-регуляторами, позволило значительно повысить качество* напряжения и надежность системы бортового электроснабжения. Ее габаритно-весовые параметры также улучшились.

Следует заметить, что повышение мощности, качества электричества и надежности системы электроснабжения не самоцель, а насущная необходимость современного автомобилестроения. Теперь на борту автомобиля устанавливаются до 120 потребителей электроэнергии, значительная часть из которых полупроводниковые и интегральные схемы.

** Качество напряжения (иногда говорят качество электричества) — технический термин, обозначающий высокую степень стабильности параметров напряжения на выходе блока (или системы) электроснабжения, а также отсутствие в выходном напряжении высокочастотных гармоник и случайных всплесков ("драбезга").*

Система электроснабжения, структурная схема и токоскоростная характеристика которой показаны на рис. 1.1, работает следующим образом.

Когда ротор генератора не вращается ($n = 0$), напряжение $U_с$ бортовой сети равно напряжению АКБ ($U_с = U_б$) и потребители запитываются током батареи ($I_н = I_б$). Если после пуска ДВС напряжение $U_г$ меньше напряжения $U_б$ батареи, что будет иметь место при частотах n вращения ротора в пределах $0 < n < n_0$, бортовые потребители будут запитываться только от АКБ ($U_с = U_б$, $I_б = I_н$), а ток генератора пока еще будет оставаться приблизительно равным нулю ($I_г = I_р$). На токоскоростной характеристике — участок до $n = n_0$.

В точке $n = n_0$ напряжение $U_г$ генератора почти станет равным напряжению $U_б$ батареи, а следовательно, и напряжению $U_с$ бортовой сети ($U_г = U_б = U_с$). При встречно-параллельном включении двух источников электроэнергии с одинаковыми напряжениями обмена током между ними не происходит, т.е. ток $I_з$ заряда АКБ пока еще нулевой ($I_з = 0$). Регулятор Р начинает потреблять ток $I_р$ от генератора, а бортовые электропотребители получают электроэнергию от обоих источников ($I_н = I_г + I_б$). Частота n_0 вращения ротора генератора несколько ниже граничных оборотов холостого хода прогретого ДВС. Поэтому передаточное отношение между шкивами двигателя и генератора выбирается таким образом, чтобы на нижних оборотах холостого хода электроэнергией от генератора обеспечивались по крайней мере основные бортовые потребители (система зажигания, впрыск топлива, габаритные огни в ночное время). Тогда после запуска ДВС коленвал развивает обороты холостого хода и наступает состояние, при котором $n > n_0$, а напряжение генератора становится больше напряжения $U_б$ аккумуляторной батареи ($U_г > U_б$). При дальнейшем увеличении частоты вращения n генератор обеспечивает электроэнергией все бортовые потребители и начинает заряжать АКБ ($I_г = I_н + I_з + I_р$). Ток $I_г$ генератора становится почти линейной функцией $I_г = f(n)$ от частоты вращения n, а напряжение $U_с$ бортовой сети — равным напряжению $U_г$ генератора ($U_с = U_г$) и теперь полностью определяется регулятором Р напряжения (вплоть до состояния $n = n_н$).

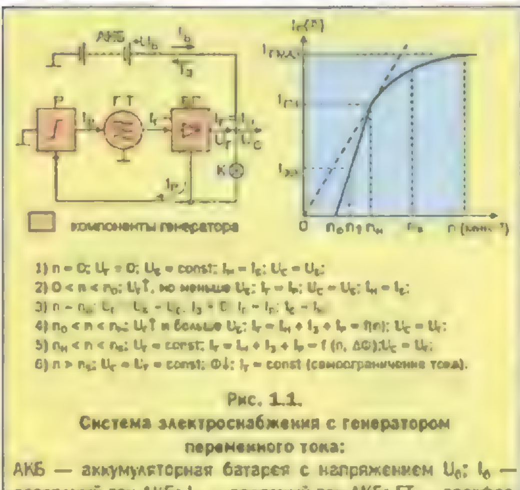


Рис. 1.1.
Система электроснабжения с генератором переменного тока:
АКБ — аккумуляторная батарея с напряжением $U_б$; $I_б$ — разрядный ток АКБ; $I_з$ — зарядный ток АКБ; ГТ — трехфазный генератор синусоидального переменного тока; $I_{г\sim}$ — переменный ток генератора; $I_в$ — ток возбуждения генератора; Р — регулятор напряжения генератора по току $I_в$ возбуждения; ВП — трехфазный двухполупериодный выпрямитель (Ларионова); $I_р$ — ток, потребляемый регулятором Р; $I_{г=}$ — постоянный ток генератора; $U_г$ — постоянное напряжение генератора; $U_с$ — напряжение бортсети автомобиля; Iн — общий ток нагрузки системы электроснабжения; К — контрольная лампа генератора, n — обороты приводного шкива генератора; Ф — магнитный поток.

На повышенных оборотах ДВС, когда частота n вращения ротора генератора лежит в пределах от $n_н$ до n_s, напряжение $U_г$ генератора перестает увеличиваться ($U_г = const$) и даже может несколько падать из-за размагничивающего действия токов статора под большой нагрузкой, но ток $I_г$ генератора все еще может возрастать, приближаясь к самоограничению ($I_г = I_н + I_з + I_р = f(n, ΔФ)$; $U_с = U_г$). Явление самоограничения наступает при большом токе $I_г$ генератора (когда $I_г = I_{гmax}$) и при высокой частоте вращения ($n > n_s$) ротора, как следствие насыщения этим током магнитных цепей генератора. При этом магнитный поток Ф, связывающий магнитное поле $B_г$ ротора с витками W_s обмотки статора, частично уничтожается противодействующим (наведенным током $I_г$) магнитным полем B_s статора. Ток $I_г$ перестает быть функцией от частоты вращения n и начиная с $n = n_s$ становится постоянным.

В современных генераторах переменного тока максимальное значение тока $I_г$ является рабочим и для генераторов автомобилей представительского класса с мощным ДВС может достигать 100 А.

Конструктивной особенностью современных генераторов трехфазного переменного тока является наличие в них дополнительной диодной сборки d, а также включение фазных обмоток генератора не "звездой", а "треугольником". Это позволяет упростить схему контрольной лампы К генератора, а также изолировать цепь питания регулятора Р напряжения от большеточной выходной цепи "Вых". Таким способом исключается возможность нежелательного разряда аккумуляторной батареи через регулятор напряжения и обмотку возбуждения при неработающем двигателе, но включенном зажигании. Кроме того, соединение фазных обмоток "треугольником" позволяет применять более тонкие провода для фазных обмоток генератора. Надежность генератора при этом также повышается. Как следствие, современные автомобильные генераторы проходят без ремонта до 250000 км пробега.

● Ограничивать ток заряда АКБ в современных системах электроснабжения не требуется, так как регулятор Р напряжения на средних и умеренно повышенных оборотах ДВС, а самоограничение тока генератора на высоких оборотах ДВС не допускают перезаряда автомобильной аккумуляторной батареи. Однако следует заметить, что заряд аккумуляторной батареи на борту автомобиля осуществляется при постоянном напряжении. И когда АКБ сильно разряжена, ток $I_з$ заряда может быть значительным. Если номинальная емкость C_H установленной на автомобиле АКБ не согласована с максимальным током автомобильного генератора, возможен или перегрев сильно разряженной АКБ в начале ее заряда, или постоянный недозаряд батареи, что в обоих случаях снижает срок ее службы. Поэтому на автомобилях с генераторами большой мощности не рекомендуется устанавливать АКБ малой емкости. И наоборот, АКБ большей емкости не следует устанавливать на автомобилях с генератором малой мощности. Другими словами, автомобильный генератор и аккумуляторная батарея, работающие на борту автомобиля как единая автономная система электроснабжения, должны подбираться по токовым параметрам. При замене АКБ следует придерживаться условия $[3C_H \leq 2I_{г\,max}]$*. Основные компоненты системы электроснабжения — аккумуляторная батарея и электрогенератор современного легкового автомобиля — подробно описаны в последующих главах.

1.3. Система пуска ДВС

Следующей классической системой электрооборудования автомобиля является система электростартерного пуска ДВС.

Следует заметить, что электростартерная система пуска — это не единственная пусковая система для автомобильных ДВС. Но для легковых автомобилей все прочие системы (гидравлическая, инерционная, пневматическая) бесперспективны.

Современная система электростартерного пуска — это совокупность электростартера, бортовой аккумуляторной батареи и стартерных электроцепей. Элементом системы пуска является также венечная шестерня маховика ДВС. Для автомобилей в северном исполнении в систему пуска ДВС иногда включают средства для облегчения пуска [3].

● Блок-схема электрической системы пуска ДВС современного легкового автомобиля приведена на рис. 1.2. Главным агрегатом такой системы является

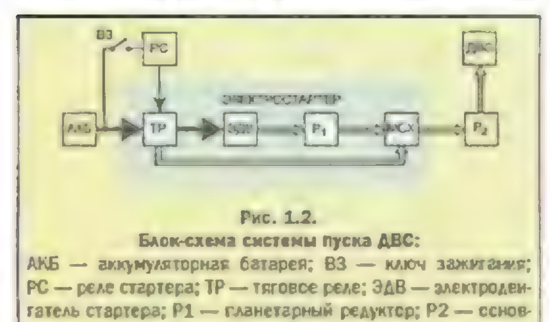


Рис. 1.2.
Блок-схема системы пуска ДВС:
АКБ — аккумуляторная батарея; ВЗ — ключ зажигания; РС — реле стартера; ТР — тяговое реле; ЭДВ — электродвигатель стартера; Р1 — планетарный редуктор; Р2 — основной понижающий редуктор; МСХ — муфта свободного хода; ДВС — двигатель.

* *Квадратные скобки указывают на равенство числовых величин в формуле без учета размерностей.*

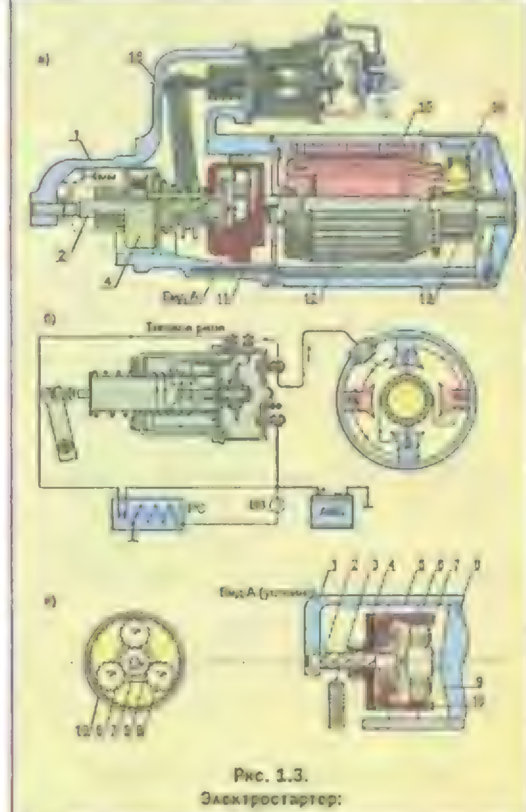


Рис. 1.3.
Электростартер:
а — конструкция стартера; б — электрическая схема соединений; в — планетарный редуктор стартера; 1 — корпус; 2 — направляющий вал с витыми пазами; 3 — венечная шестерня маховика ДВС; 4 — муфта СХ; 5 — водило с сателлитами; 6 — сателлитная шестерня; 7 — шестерня на валу ротора; 8 — электродвигатель стартера; 9 — ось сателлита; 10 — планетарная шестерня с внутренним зацеплением; 11 — корпус планетарной шестерни; 12 — ротор электродвигателя; 13 — ламели на коллекторе; 14 — щетки в щеткодержателе; 15 — статорная обмотка (возбуждения); 16 — рычаг привода МСХ; ВЗ — включатель зажигания; РС — реле стартера.

электростартер (рис. 1.3). Это такое устройство, в котором конструктивно совмещены четыре функциональных узла системы: электродвигатель ЭД постоянного тока, электромагнитное тяговое реле ТР, дополнительный понижающий (чаще всего на современных легковых автомобилях — планетарный) редуктор P_1 и муфта МСХ свободного хода с шестерней зацепления. Шестерня зацепления образует с венечной шестерней маховика ДВС основной понижающий редуктор P_2 с передаточным числом не более 18. Дополнительный планетарный редуктор P_1 применяется в современных электростартерах с быстроходным электродвигателем. Его передаточное число не более 4-х и определяется как: $i_p = 1 + Z_p/Z_я$, где Z_p — число зубцов планетарной шестерни, $Z_я$ — число зубцов шестерни на оси якоря электродвигателя.

Пуск стартера осуществляется посредством включения ключа зажигания ВЗ, который через реле стартера РС подает напряжение аккумуляторной батареи АКБ на тяговое реле ТР. Реле ТР выполняет две функции: подключает электродвигатель стартера непосредственно к АКБ и механически сочленяет шестерню зацепления муфты свободного хода МСХ с венечной шестерней маховика ДВС (т.е. включает на время пуска механический редуктор P_2).

Муфта МСХ и электрическое управление стартером современного автомобиля устроены таким образом, что как только ДВС запускается, то сначала редуктор P_2, а затем и электродвигатель ЭД выключаются.

Дополнительный планетарный редуктор P_1 находится внутри конструкции стартера в постоянно включенном состоянии. Он располагается соосно с электродвигателем и муфтой свободного хода.

Планетарный редуктор, который иногда называют редуктором Джемса, может иметь два варианта исполнения: с неподвижной планетарной шестерней и с вращающимся водилом, на котором установлены сателлитные шестерни, а также с вращающейся планетарной шестерней и с неподвижными сателлитами (подробно см. далее в главе 8).

Рис. 1.4.
К пояснению принципа действия электродвигателя: а — правило левой руки; I — ток; В — магнитное поле; F — механическая сила; NS — постоянный магнит; б — модель ЭДВ; Iя — ток якоря; R — якорь (токопроводная рамка); F1 и F2 — пара сил; X — ось вращения якоря; M — щетки КЩМ; е — ламели коллектора; ω — частота вращения.

- Электродвигатель стартера — это электрическая машина постоянного тока, преобразующая электрическую энергию $W_э$ от АКБ в механическую энергию $W_м$ вращения якоря: $W_м = f(W_э)$.

Принцип действия электродвигателя основан на использовании второго закона электромагнитной индукции, согласно которому механическая сила F, действующая на проводник L с током I, который помещен в магнитное поле с индукцией B, определяется как $F = BLI$. Направление действия силы F определяется по правилу левой руки (рис. 1.4, а).

Если проводник L изогнуть витком в виде токопроводной рамки R и поместить в магнитное поле B, образуется наглядная модель электродвигателя (рис. 1.4, б). В этой модели постоянный магнит NS — это неподвижный статор с главным магнитным полем B, а токопроводная рамка R — это вращающийся якорь.

Машины постоянного тока являются коллекторными машинами, т.е. они обязательно содержат в своем составе коллекторно-щеточный механизм (КЩМ).

КЩМ — это устройство, которое обеспечивает контактную гальваническую электросвязь между вращающимся якорем (на модели — рамка R) и внешней электроцепью. КЩМ состоит из контактных медных ламелей K, изолированных друг от друга и собранных на оси якоря в виде коллекторного цилиндра, а также из контактных медно-графитовых щеток M, прижатых пружинами к ламелям коллекторного цилиндра. Щетки помещены в щеткодержатели, которые для щеток являются прижимными центрирующими устройствами, а для внешней электрической цепи — выводными контактами якоря. Число ламелей на коллекторном цилиндре равно удвоенному числу токопроводных рамок на якоре. Число контактных щеток в современном стартерном электродвигателе обычно равно четырем. Они включаются по схеме, показанной на рис. 1.3, б.

Модель электродвигателя постоянного тока, приведенная на рис. 1.4, б, работает следующим образом. Пусть рамка R в исходном состоянии находится в положении, указанном на чертеже (угол α поворота рамки относительно магнитных силовых линий поля B равен нулю). На клеммы (+) и (—) щеток M от внешнего источника электрической энергии $W_э$ подается постоянное напряжение U_A. Под действием напряжения U_A по токопроводной рамке R, согласно закону Ома, начнет протекать ток якоря $I_я = U_A/R$ (где R — омическое сопротивление рамки R).

Как видно из чертежа, ток $I_я$ якоря в верхнем стержне рамки R, протекая от плюса к минусу, направлен "слева-направо", а в нижнем стержне — "справа-налево". Ток $I_я$, вступая в электромагнитное взаимодействие с магнитным полем B статора, образует пару сил (F_1 и F_2), каждая из которых равна

$F = B_sL_rI_r\cos\alpha$. Пара сил развернет рамку R по часовой стрелке(согласно правилу левой руки) на угол, равный 90°. В этом месте (точка $\alpha = 90°$) силы F_1 и F_2 станут равными нулю ($\cos 90° = 0$), а ток $I_я$ разомкнется, так как ламели КЩМ выйдут из соприкосновения со щетками. Дальнейшее вращение рамки R якоря электродвигателя до момента обратного подключения щеток к ламелям будет протекать по инерции. Обратное подключение рамки R к внешнему постоянному напряжению U_A приведет к восстановлению тока $I_я$ в прежнем по отношению к магнитному полю B_s направлении. Силы F_1 и F_2, действуя в прежнем направлении, начнут возрастать по закону косинуса от нуля в точке $\alpha = 90°$ до значения BLI в точке $\alpha = 180°$ и далее от значения BLI до нуля в точке $\alpha = 270°$. В этой точке ($\alpha = 270°$) ламели под щетками снова поменяют свое положение на противоположное, и снова повторятся процессы, описанные для точки $\alpha = 90°$. В результате поочередного механического воздействия пары сил F_1 и F_2 на стержни токопроводной рамки R вал X якоря электродвигателя начнет постоянно вращаться со скоростью ω в направлении действия пары сил.

● В реальных стартерных электродвигателях число токопроводных рамок на якоре не менее 12 (24 ламели на коллекторе). Это обеспечивает электродвигателю плавность хода, более высокий КПД, максимальное значение вращающего момента в любом положении якоря, а также отсутствие таких состояний в КЩМ, при которых ток $I_я$ якоря размыкается. Пара сил действует постоянно.

В описанной модели электродвигателя главное магнитное поле машины на статоре формируется постоянным магнитом NS. В реальных стартерных электродвигателях такая система наведения главного магнитного поля стала применяться только в последнее время, когда появились малогабаритные сильные постоянные магниты. Ранее для пуска многоцилиндровых ДВС электростартер с возбуждением от постоянных магнитов не применялся. В таких случаях использовались стартерные электродвигатели с внешним возбуждением, т.е. с возбуждением главного магнитного поля электродвигателя от внешнего источника электрической энергии.

Это достигается заменой постоянного магнита статора на статорный электромагнит. Обмотка такого электромагнита называется обмоткой возбуждения. На время работы стартера обмотка возбуждения подключается к аккумуляторной батарее через обмотку якоря (последовательное возбуждение). Иногда обмоток возбуждения две (параллельно-последовательное возбуждение).

● Основными функциональными особенностями стартера являются кратковременность его работы и способность развивать на короткое время пуска большой крутящий момент. Первая особенность позволяет изготавливать электродвигатели стартеров со значительным уменьшением веса и габаритов, а вторая — обеспечивается значительным увеличением пускового тока по сравнению с обычными электродвигателями, что допустимо только на короткое время. Мощность стартера определяется моментом прокручивания холодного ДВС во время пуска при низких температурах и достигает для некоторых двигателей легковых автомобилей 2 кВт.

● С другой стороны, в обычных условиях эксплуатации мощность стартера может быть значительно меньше. В связи с этим разрабатывается и уже экспериментально проверена идея двухрежимного стартерного пуска, при котором хорошо прогретый двигатель запускается от так называемого конденсаторного стартера (путем быстрого разряда предварительно медленно заряженной конденсаторной батареи на значительно уменьшенный в весе и габаритах быстроходный электродвигатель с редуктором), а холодный двигатель при очень низких температурах запускается не от конденсаторов, а от внешней электросети. Основная перспектива применения такой системы пуска ориентирована на реализацию режима экономии топлива при движении в городе, когда под каждым светофором двигатель автомобиля выключается, а при прикосновении к педали акселератора вновь автоматически запускается. Такая система пуска называется "стоп стартером". В городском режиме движения автомобиля стоп-стартер может функционировать безотказно. По оценке некоторых исследователей, это может дать экономию топлива около 30% [3].

● Но даже в классическом исполнении современные системы пуска уже сегодня в целом более совершенны, чем им предшествующие. Так, сам стартерный электродвигатель стал меньше в размерах, более надежным и более легким за счет применения современных технологий сборки и новых электромагнитных материалов. Значительно усовершенствована механическая передача энергии вращения от стартера к венцу маховика двигателя. Теперь эта передача на мощных ДВС стала редукторной, что также позволило уменьшить вес и габариты стартерного электродвигателя благодаря повышению его минимальных оборотов и уменьшению пусковых токов. Потребление электрической энергии стартером от АКБ при этом стало более рациональным (чем меньше пусковой ток стартера, тем больше напряжение АКБ при пуске ДВС).

Следует заметить, что стартерный режим работы АКБ значительно отличается от ее работы в системе электроснабжения. Современный стартер позволяет работать АКБ в более щадящем режиме, что делает современную систему пуска более надежной.

Подробно современный автомобильный электростартер описан в главе 8 настоящей книги.

1.4. Системы электроискрового зажигания

Говоря об электроискровом зажигании, следует заметить, что в самом начале на автомобилях оно реализовывалось от магнето.

• Магнето — это электрическая машина индукторного типа. Преобразует механическую энергию непосредственно в энергию искрового разряда. Работает независимо от бортовой электросети.

Конструктивно в магнето совмещены (рис. 1.5): индукторный электрогенератор ИГ; повышающий трансформатор ТР, первичная обмотка W_1 которого является индуктивным накопителем энергии; контактный прерыватель Р тока с кулачковым толкателем К; распределитель S. Ротор (постоянный магнит М) индукторного генератора ИГ, кулачок прерывателя Р и редуктор R распределителя S механически соединены общей осью и приводятся во вращение от коленвала (КВ) ДВС. Когда индукционный ток в первичной обмотке трансформатора ТР достигает максимального значения, контакты прерывателя Р размыкаются. Во вторичной обмотке W_2 повышающего трансформатора наводится высоковольтное напряжение, которое распределяется по свечам распределителем S.

Магнето и теперь еще достаточно широко используется на тракторных пусковых и на малоцилиндровых, например мотоциклетных двигателях. Но на современных автомобилях магнето теперь не применяется.

Этому есть две причины: низкая надежность электромеханического магнето с высоковольтным распределением при его работе на многоцилиндровых ДВС и невозможность получения высокой энергии искрового разряда при низких оборотах вращения коленвала двигателя (наиболее сказывается при пуске холодного ДВС).

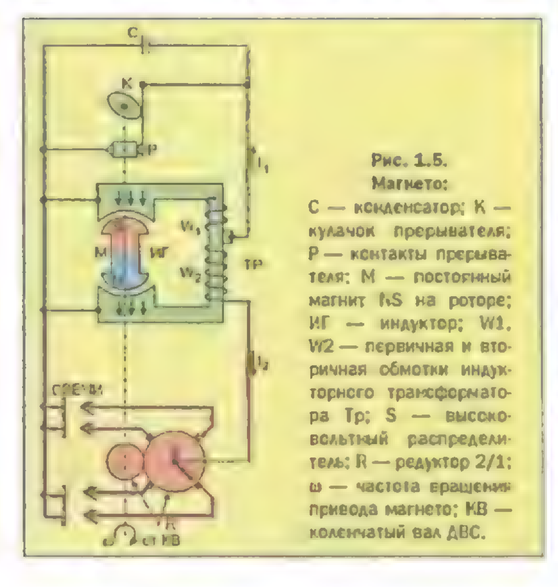


Рис. 1.5. Магнето:
С — конденсатор; К — кулачок прерывателя; Р — контакты прерывателя; М — постоянный магнит NS на роторе; ИГ — индуктор; W1, W2 — первичная и вторичная обмотки индукторного трансформатора Тр; S — высоковольтный распределитель; R — редуктор 2/1; ω — частота вращения привода магнето; КВ — коленчатый вал ДВС.

• Классической для автомобилей является батарейная система зажигания (рис. 1.6). Ее компонентный состав прост: катушка зажигания КЗ, прерыватель КП с распределителем РП и свечи зажигания СВ с высоковольтными проводами. Источником энергии для системы зажигания является бортовая система электроснабжения ($U_б$), а источниками управляющих сигналов — механический привод ПР от распределительного вала ДВС и пневмопривод ВР от разрежения во впускном коллекторе ВК.

Интересной особенностью батарейной системы зажигания является то, что в ней изначально были найдены два совершенно уникальных технических решения: индуктивный накопитель (катушка зажигания) и высоковольтный электроискровой разрядник (свечи зажигания). До тех пор, пока воспламенение топливовоздушной смеси на легкотопливных ДВС будет осуществляться от высоковольтной искры, свечи зажигания и катушка зажигания в автомобильной системе зажигания будут присутствовать всегда. Были попытки применить пьезокерамические генераторы высокого напряжения, а также полупроводниковые свечи



Рис. 1.6.
Контактная (батарейная) система зажигания (КСЗ):
а — электрическая схема КСЗ; б — компоненты КСЗ; АКБ (Uб) — аккумуляторная батарея; КЗ — катушка зажигания с первичной W1 и вторичной W2 обмотками; КП — контактная пара прерывателя; ВР — вакуумный регулятор; ЦР — центробежный регулятор; РП — распределитель; ПР — привод от распределительного вала; С1 — конденсатор первичной цепи; С2 — распределенная емкость вторичной цепи; Rv — добавочное сопротивление КЗ; ВЗ — включатель зажигания; ЗС — замыкатель на стартере; СВ — свечи; ВК — разрежение во впускном коллекторе.

зажигания с поверхностным тлеющим разрядом. Но высокая сложность их конструкции и низкая надежность оставили эти попытки на уровне научно-исследовательских разработок. Системы зажигания с емкостным накопителем также не нашли широкого распространения, так как не обеспечивают требуемой для стандартных ДВС длительности электроискрового разряда. Таким образом, катушка зажигания и свечи зажигания составляют выходную электрическую схему в любой современной системе зажигания.

Существуют контактные системы зажигания, в которых число таких выходных электрических схем равно числу цилиндров двигателя, что позволяет отказаться от высоковольтного электромеханического переключателя-распределителя.

● В двигателях с парным числом цилиндров возможно применение двухвыводных трансформаторов или катушек зажигания, когда оба вывода используются как рабочие (рис. 1.7). Искрообразование от двухвыводной КЗ в обеих свечах S происходит одновременно. При этом одна свеча в данном цикле рабочая, другая — холостая. Свечи устанавливаются в те цилиндры, в которых поршни имеют одинаковый ход во всех фазах движения. Для 4-х цилиндрового ДВС это первый и четвертый, а также второй и третий цилиндры. Для нормальной работы 4-х цилиндрового ДВС необходимы две двухвыводные катушки зажигания; для 6-ти цилиндрового — три; для 8-ми цилиндрового — четыре. В двигателях, оборудованных двухвыводными КЗ, порядок работы не нарушается, так как — когда в одном цилиндре сжатие и зажигание, в другом — выпуск отработавших газов. Установочный угол опережения зажигания в таких ДВС больше обычного. Инжектором носителей зарядов в одной свече (S+) является корпусной электрод, в другой свече (S–) — центральный электрод (R_n — помехоподавительный резистор).

Все многовыводные системы зажигания с индуктивным накопителем требуют значительного увеличения электроэнергии для их питания. Так, двухканальная система зажигания современного 4-х цилиндрового автомобильного двигателя потребляет от бортовой сети не 20-30 Вт, как батарейная система зажигания, а до 100 Вт. Это не является недостатком, так как в классической батарейной системе зажигания малый ток потребления объясняется не реальной потребностью электроэнергии на оптимальное искрообразование, а невозможностью сделать этот ток больше из-за наличия в системе электромеханических контактов прерывателя, которые подвержены быстрой эрозии и выгоранию при большом коммутируемом токе. Кроме этого, в контактных системах зажигания с высоковольтным распределителем (одной катушкой зажигания) угол замкнутого состояния контактов (время накопления энергии в катушке зажигания) ограничен. В многовыводных системах зажигания накопление энергии в индуктивном накопителе происходит более продолжительное время.

Рис. 1.7. Двухвыводная катушка зажигания

● Главным достижением в конструировании и совершенствовании автомобильных систем зажигания является широкое применение в их схемах полупроводниковых приборов. Так возникли контактно-транзисторная (рис. 1.8, а), бесконтактно-транзисторная (рис. 1.8, б) и тиристорная (рис. 1.8, в) системы управления первичным током катушки зажигания. Электронная часть этих систем получила название электронного коммутатора зажигания.

С внедрением электронных коммутаторов появились совершенно новые возможности реализации автоматического управления энергией индуктивного накопителя, так как коммутация тока первичной обмотки катушки зажигания стала теперь также электронной.

Дальнейшее развитие систем зажигания шло по пути внедрения электронного управления временем накопления и моментом искрообразования. Электронные блоки управления, реализующие эти функции, получили название контроллеров. Контроллер зажигания управляется от датчиков, а управляет — электронным коммутатором системы зажигания (рис. 1.8, г). Так появились системы зажигания с чисто электронным управлением.

Все это повысило такие эксплуатационные характеристики системы зажигания, как функциональная точность, продолжительность наработки на отказ, энергия высоковольтной искры, универсальность применения, надежность.

● О надежности системы зажигания надо сказать отдельно. Известно, что эксплуатационная надежность N сложной технической системы определяется в основном двумя факторами: надежностью n_m каждого из составных компонентов системы и их числом m: $N = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdots n_m$.

Для многокомпонентных систем это означает, что самый ненадежный элемент сводит "на нет" надежность всех остальных. Так, если контактная пара прерывателя (n = 0,75) в классической батарейной системе зажигания перегорает, то высоконадежный элемент этой системы — катушка зажигания (n = 0,99) — не защищает систему от выхода из строя. А в батарейной системе зажигания низконадежных элементов немало. Кроме электрических контактов прерывателя и распределителя (n = 0,85), это еще и такие механические составные части системы, как центробежный регулятор (n = 0,80), вакуумный регулятор (n = 0,95), привод (n = 0,90) от коленвала ДВС.

Как следствие низкой надежности составных частей, батарейная система зажигания хотя и содержит всего шесть конструктивных составных элементов, имеет низкую надежность: $N_к = 0{,}75 \cdot 0{,}99 \cdot 0{,}85 \cdot 0{,}80 \cdot 0{,}90 \cdot 0{,}95 = 0{,}435$.

Многоэлементная бесконтактная электронная система зажигания, в которой число элементов не менее 120, но каждый элемент m обладает высокой надежностью (не менее 0,99), имеет достаточно высокую надежность: $N_э = n_m^m = 0{,}99^{128} = 0{,}88$.

Статистически установлено, что из общего числа отказов, приходящихся на навесное электрооборудование двигателя, на батарейную систему зажигания приходится более половины, в то время как на электронную систему зажигания — всего 12%.

Помимо конструктивной надежности электронные системы зажигания имеют очень высокую функциональную надежность, что в первую очередь определяется высокой точностью и быстродействием исполнения операций управления в электронных схемах.

На повышение надежности электронных схем сказывает влияние еще и тот факт, что в них легко осуществить схемотехническое резервирование исполнительных функций. К примеру, если какой-либо из датчиков современной системы зажигания отказывает, это не приводит к отказу всей системы в целом, так как его функции по среднему уровню начинает отрабатывать специальная электронная схема резервирования (исключение составляет датчик частоты вращения ДВС).

В схемотехническом отношении электронные системы зажигания являются самыми сложными устройствами электрооборудования автомобиля.

Подробно современные системы зажигания описаны в главе 9.

1.5. Система освещения и сигнализации

Система освещения и сигнализации современных автомобилей развивается в основном по двум на-

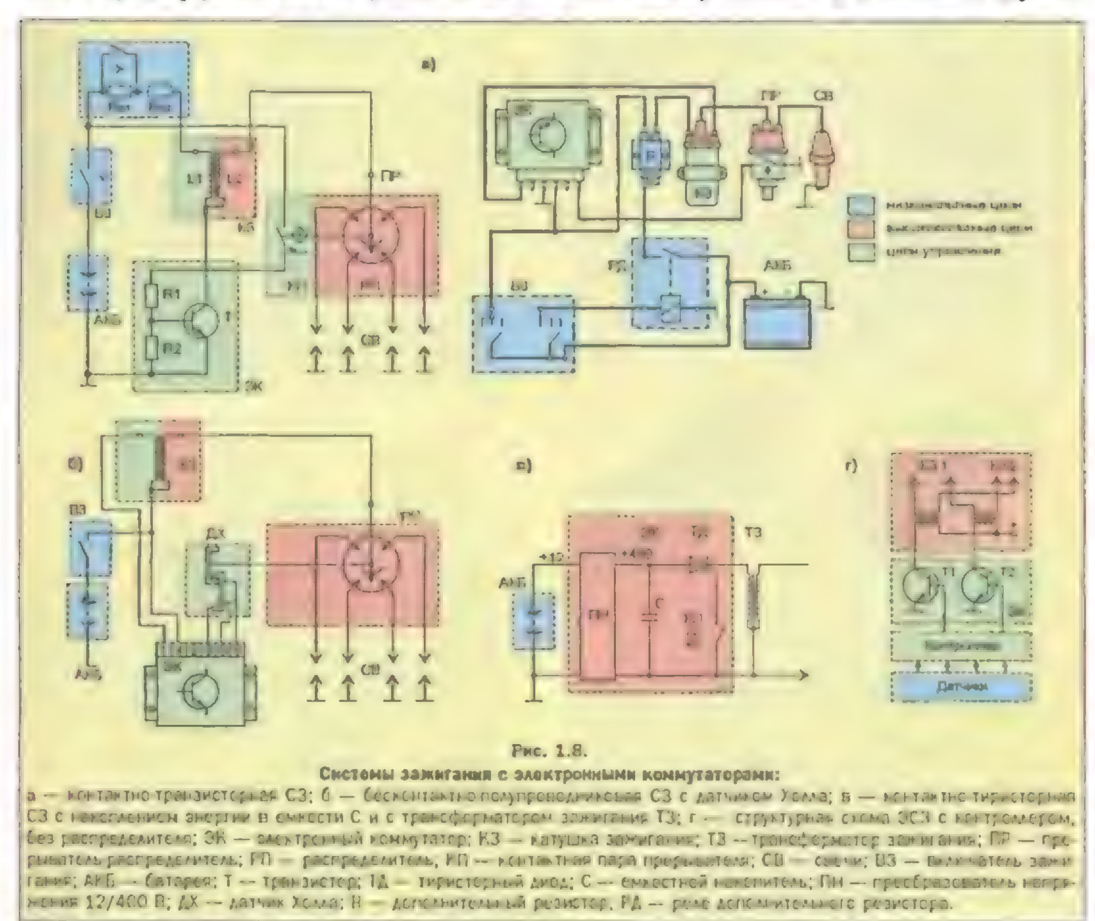


Рис. 1.8.
Системы зажигания с электронными коммутаторами:
а — контактно-транзисторная СЗ; б — бесконтактно-полупроводниковая СЗ с датчиком Холла; в — контактно-тиристорная СЗ с накоплением энергии в емкости С и с трансформатором зажигания ТЗ; г — структурная схема ЭСЗ с контроллером, без распределителя; ЭК — электронный коммутатор; КЗ — катушка зажигания; ТЗ — трансформатор зажигания; ПР — прерыватель-распределитель; РП — распределитель; КП — контактная пара прерывателя; СВ — свечи; ВЗ — выключатель зажигания; АКБ — батарея; Т — транзистор; ТД — тиристорный диод; С — емкостной накопитель; ПН — преобразователь напряжения 12/400 В; ДХ — датчик Холла; R — дополнительный резистор; РД — реле дополнительного резистора.

правлениям: по пути совершенствования оптики и конструкций наружных осветительных и светосигнальных приборов, а также по пути развития электросетей коммутации в цепях больших токов для светотехнического и сигнального оборудования.

- На современном автомобиле наружные осветительные приборы оборудованы либо стеклоочистителем, либо стеклоомывателем, либо и тем и другим вместе. Пока это в основном относится к передним фарам. Именно поэтому передняя фара автомобиля уже давно многофункциональна. В ней сразу все — и дальний, и ближний, и противотуманный свет, и габаритные огни, и указатели поворотов (рис. 1.9, а).

- Задние фонари большинства современных автомобилей также многофункциональны. Здесь в едином монолитном блоке за общим защитным стеклом размещаются электролампы габаритных огней, стоп-сигналов, стояночных огней, указателей поворотов, сигналов заднего хода, освещения номерного знака, противотуманных задних огней, катофоты, огни аварийной и противоугонной сигнализации (рис. 1.9, б).

Единый монолитный блок заднего фонаря позволяет в перспективе применить и на нем стеклоомыватель или стеклоочиститель. Это особенно важно для обеспечения должной безопасности движения автомобилей на загрязненных автодорогах. На ряде автомобилей внедорожного класса специального назначения это уже делается.

Разработана также оптоэлектронная система для определения степени загрязнения стекол наружных осветительных приборов. Эта система позволяет автоматически включать стеклоочиститель и стеклоомыватель передних и задних фонарей при их загрязнении [4].

а) б)

Рис. 1.9.
Наружные осветительные приборы в моноблочном исполнении:
а — многофункциональная фара: 1 — корпус фары, 2 — лампа указателя поворота, 3 — внутренний рассеиватель указателя поворота, 4 — лампа габаритного света, 5 — блок двухнитевой лампы дальнего и ближнего света, 6 — отражатель, 7 — корректор, 8 — защитное стекло моноблока; б — моноблок заднего фонаря: 1 — рассеиватель стоп-сигнала, 2 — лампа стоп-сигнала, 3 — фонарь заднего хода, 4 — катофот, 5 — задний габаритный свет, 6 — лампа в блоке указателя поворотов, 7 — корпус моноблока заднего фонаря; 7 — печатная плата электрических соединений.

- Еще одна из задач совершенствования наружного освещения — повышение эффективности светоотдачи передних фар дальнего, ближнего и противотуманного света. Здесь сходятся воедино два противоречивых требования: с одной стороны, надо бы иметь больше света впереди автомобиля в ночное время, но с другой — мощный свет ослепляет водителей на встречном транспорте. Так в свое время появились национальные стандарты на освещение дороги автомобильными фарами. Были разработаны и созданы самые разнообразные конструкции фарных отражателей (рефлекторов) и корректоров положения фар.

Наиболее сложным (с точки зрения формирования в фаре), всегда являлся ближний свет. В универсальных фарах он требует смещения нити электролампы на строго определенное расстояние от фокуса оптики, а также установки специального экрана под нитью. Настройка такой фары при совмещении в ней дальнего света — обязательная эксплуатационная процедура.

Последние достижения в области усовершенствования передних фар подробно описаны в главе 12.

- Звуковые сигналы современного автомобиля теперь чаще всего выполняют две функции: предупреждающего сигнала во время движения (разрешен в экстремальных ситуациях) и сигнала тревоги во время несанкционированного проникновения в автомобиль. Эти два сигнала управляются от двух независимых друг от друга устройств коммутации и запитываются от различных источников электроэнергии.

Современные противоугонные системы сигнализации помимо звуковых сигналов подают сигналы тревоги проблеском габаритных огней и устанавливаются непосредственно на автомобильном заводе. В систему защиты автомобиля от угона теперь включается и так называемый кодированный ключ зажигания.

1.6. Система контрольно-измерительных приборов и вспомогательного электрооборудования

Эта система включает в себя щитковые контрольно-измерительные приборы и коммутационные органы управления, которые расположены на водительском пульте, а также все те устройства, которые являются вспомогательными в бортовой системе электрооборудования. Сюда относятся релейные и предохранительные монтажные блоки, соединительные электропровода, а также большое количество самых разнообразных приводов от электрических двигателей, начиная от стеклоочистителей и вентиляторов и кончая электроприводами для стеклоподъемников и для наружных зеркал заднего вида. Сюда же относятся и те устройства комфортного электрооборудования, которыми широко оснащаются современные автомобили (радиотелефон, кондиционер, обогрев сиде-

ний, теле- радио- и аудиоаппаратура, телескопическая радиоантенна, обогрев заднего стекла кузова, салонная вентиляция, прикуриватели и тому подобное).

Современный щиток приборов (рис. 1.10) и пульт управления водителя значительно отличаются от своих предшественников, которые устанавливались на старых моделях автомобилей. Многие приборы теперь стали электронными с выходной цифровой индикацией. Это и спидометры, и часы, и указатели уровня топлива в бензобаке, и цифровые указатели автомобильного бортового компьютера путевого контроля. Все они требуют для своего функционирования электронных схем управления, специально разработанных для этих целей.

Необходимость коммутации токов в лампах накаливания большой мощности (в фарах), а также значительное увеличение числа других мощных потребителей электроэнергии на борту автомобиля привели к неизбежности применения в цепях коммутации электромагнитных реле с "сухими" контактами. Реле с "сухими" контактами — это обычное электромагнитное реле, которое в разомкнутом состоянии исключает гальваническую связь между коммутируемыми цепями. Это особенно важно в большеточных электрических цепях. Число релейных устройств на современном автомобиле доходит теперь до 30 единиц. Отсюда возникла необходимость установки в систему автомобильных проводов не только блоков с предохранителями, но и специальных монтажных блоков для реле и для их соединительных разъемов. Число предохранителей также возросло до 20-30 единиц.

В последнее время все электрооборудование на борту автомобиля условно разбивают на три группы: на группу потребителей, постоянно включенную в бортовую электросеть при работающем двигателе (устройства, обеспечивающие работоспособность основных узлов и агрегатов автомобиля); на группу потребителей, которые подключаются к электросети автомобиля на некоторое время (стартер, система освещения и сигнализации, стеклоочиститель); на группу комфортного электрооборудования (прикуриватели, вентиляторы, кондиционер в салоне, электропривода стеклоподъемников, теле-, радио- и аудиоаппаратура и т.п.).

Рис. 1.10.

Комбинация приборов современного автомобиля:

в комбинации сочетаются традиционные стрелочные приборы и цифровой дисплей на жидких кристаллах или электронных световых индикаторах. Добавлена звуковая предупредительная сигнализация для водителя.

Ясно, что по степени важности для движения автомобиля эти три группы электропотребителей имеют разное значение. Но если на работающем автомобиле включить все три группы потребителей одновременно, то на некоторых современных автомобилях это может привести к отбору от бортовой сети до 1,5 кВт мощности (и это не считая стартера). Перегрузка бортовой сети чревата серьезными повреждениями в системе электроснабжения. Чтобы не допустить нежелательных перегрузок в системе электроснабжения на современных автомобилях применяют распределение электроэнергии по группам потребителей. При этом в каждой группе также не допускается одновременное включение нескольких мощных приборов.

Так, например, на время включения стартера все остальные потребители, кроме систем впрыска топлива и зажигания, а также габаритных огней в ночное время, от аккумуляторной батареи отключаются. Это отключение обеспечивает современный замок зажигания.

Другой пример: в салонном кондиционере теперь очень часто устанавливают специальный автоматический переключатель, который на время работы кондиционера делает невозможным подключение к электросети таких потребителей, как электроподогрев стекол, электрообогреватели сидений, электродвигатели стеклоподъемников и салонных вентиляторов.

Этим же целям отвечает и центральный переключатель света современных автомобилей, который не допускает одновременного включения дальнего и ближнего света.

Все это говорит о том, что электроэнергии на борту современного автомобиля уже в ближайшее время может оказаться недостаточно. Отсюда встает задача значительного уменьшения потребляемой электроэнергии отдельными бортовыми электропотребителями. А это становится возможным только с применением современных прогрессивных технологий и новых конструктивных материалов при изготовлении современного автомобильного электрооборудования. Примером такого подхода может служить установка в фарах высокоэкономичных газоразрядных ламп с высокой светоотдачей вместо галогенных (потребляемая мощность последних значительно выше).

Задача улучшения энергетических параметров бортовых устройств при сохранении их функций является одним из главных направлений в совершенствовании электрических и электронных компонентов бортового оборудования.

АВТОМОБИЛЬНЫЕ АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ

Сразу заметим: из всех электротехнических устройств современного высоконадежного и долговечного легкового автомобиля аккумуляторная батарея — самое ненадежное и недолговечное. Низкая надежность наиболее отчетливо проявляется зимой при попытке запустить промерзший двигатель в те дни, когда температура воздуха не превышает –30°С. К сожалению, двигатель может и не завестись. Виной тому, как правило, аккумуляторная батарея. Недолговечность всем хорошо известна: любой самый современный автомобильный аккумулятор работает не более трех–пяти лет. В чем же здесь дело? Давайте разберемся.

2.1. Общие сведения

Автомобильная аккумуляторная батарея (АКБ)* — это обратимый (многократно заряжаемый) химический источник электрического тока, состоящий из шести отдельных кислотно-свинцовых аккумуляторов, электрически соединенных последовательно и конструктивно скомпонованных в единый моноблок.

По конструктивному исполнению (рис. 2.1) стартерные АКБ подразделяют на: обслуживаемые, малообслуживаемые, необслуживаемые и монолитные.

Внешние отличительные признаки указанных четырех типов батарей следующие:

1. Обслуживаемая АКБ (рис. 2.1, а) имеет корпусной моноблок из черного эбонита, разделенный на несколько отдельных аккумуляторных банок. В каж-

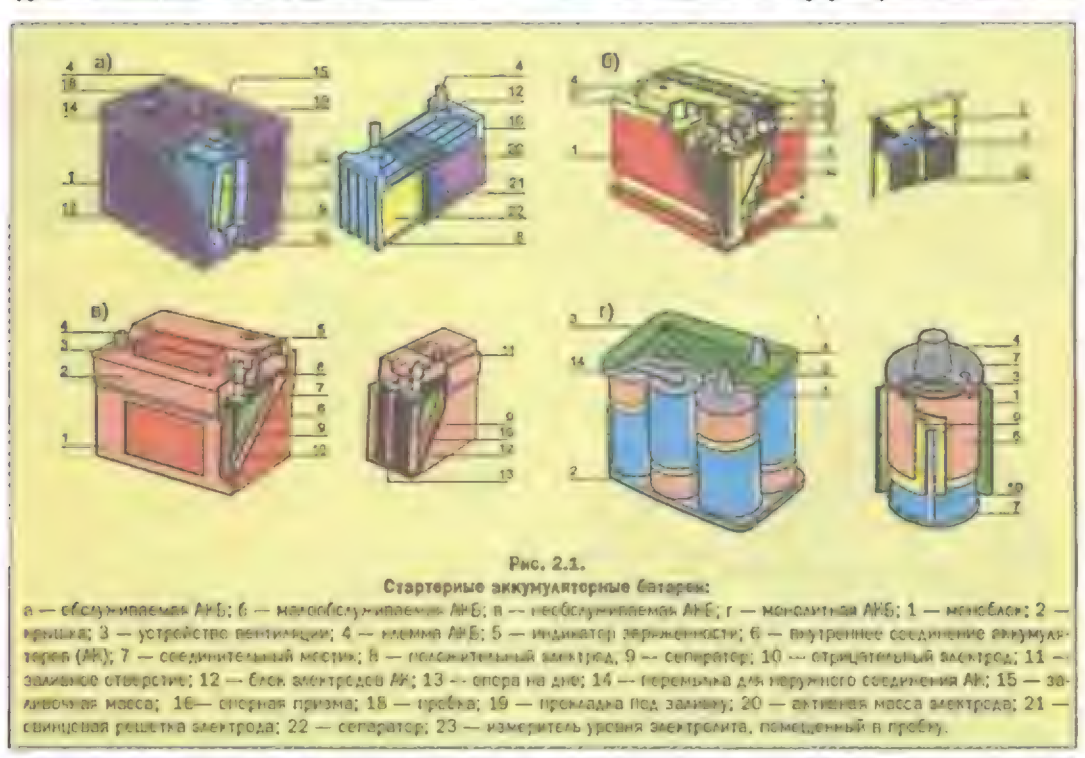


Рис. 2.1.
Стартерные аккумуляторные батареи:
а — обслуживаемая АКБ; б — малообслуживаемая АКБ; в — необслуживаемая АКБ; г — монолитная АКБ; 1 — моноблок; 2 — крышка; 3 — устройство вентиляции; 4 — клемма АКБ; 5 — индикатор заряженности; 6 — внутреннее соединение аккумуляторов (АК); 7 — соединительный мостик; 8 — положительный электрод, 9 — сепаратор; 10 — отрицательный электрод; 11 — заливное отверстие; 12 — блок электродов АК; 13 — опора на дне; 14 — перемычка для наружного соединения АК; 15 — заливочная масса; 16— опорная призма; 18 — пробка; 19 — прокладка под заливку; 20 — активная масса электрода; 21 — свинцовая решетка электрода; 22 — сепаратор; 23 — измеритель уровня электролита, помещенный в пробку.

* *Автомобильная аккумуляторная батарея в повседневной речи чаще называется автомобильным аккумулятором. В научно-технической литературе под термином «аккумулятор» принято понимать один отдельно взятый аккумуляторный элемент, входящий в состав батареи.*

дую банку помещается один аккумуляторный элемент (аккумулятор) борнами (токовыми выводами) вверх. Каждый аккумулятор накрывается защитной пластмассовой пластиной с двумя отверстиями под борны и с одним центральным резьбовым отверстием под пробку для заливки электролита. Поверх пластины аккумулятор заливается разогретой до текучего состояния термопластичной массой, например битумной мастикой. Выступающие вверх токовые выводы (борны) соединяются наружными свинцовыми перемычками, которые припаиваются к борнам. Соединения выполняются так, чтобы все аккумуляторы оказались соединенными последовательно. На краевые борны напаиваются полюсные выводы (свинцовые выходные клеммы) батареи, которые имеют конусную форму и разные диаметры у вершины и основания.

Конструкция обслуживаемой АКБ позволяет проводить проверку технического состояния каждого аккумулятора в отдельности (по плотности электролита и разрядному току на контрольную вилку) и в случае его выхода из строя — заменять на новый аккумуляторный элемент.

К основным недостаткам обслуживаемой АКБ относятся: большие габариты и вес (в основном из-за применения тяжелого и массивного эбонитового корпуса); повышенное омическое сопротивление батареи (в том числе из-за наличия протяженных наружных соединений); вероятность саморазряда по грязевым мостикам на наружных соединениях; наличие возможности протечек и испарения электролита через пробки.

2. Малообслуживаемая АКБ (рис. 2.1, б) собирается в полупрозрачном пластмассовом корпусном моноблоке (из полипропиленовой или полиэтиленовой термопластмассы) с применением внутренних соединений между отдельными аккумуляторами под общей герметичной крышкой. Это уменьшает габариты и вес АКБ, а также исключает случайный саморазряд по внешним грязевым мостикам.

Каждый аккумулятор имеет отдельную заливную пробку, что позволяет контролировать его состояние по плотности и уровню электролита. Внутреннее сопротивление меньше, чем у обслуживаемых АКБ.

Главный недостаток малообслуживаемой АКБ — невозможность измерить напряжение на каждом аккумуляторном элементе в отдельности и исключительная трудоемкость при его замене на новый аккумулятор.

3. Необслуживаемая АКБ (рис. 2.1, в) принципиально отличается от малообслуживаемой отсутствием пробок для заливки электролита и наличием на корпусе индикатора заряженности. Имеется также вентиляционный клапан. Батарея заправляется электролитом на заводе-изготовителе. Внутренние соединения выполняются через стенки аккумуляторных банок. Необслуживаемая АКБ считается неремонтопригодной. Основное преимущество — повышение эксплуатационной надежности из-за исключения потребности в доливке и в контроле за уровнем электролита и как следствие — более длительный срок службы.

4. Монолитная АКБ (рис. 2.1, г) — это новый тип автомобильной аккумуляторной батареи, созданный с применением ленточных электродов, которые после сборки аккумуляторных элементов и пропитки электролитом сворачиваются в трубки. Основные внешние отличия — аккумуляторы имеют цилиндрическую форму и внешние соединения с обеих сторон аккумуляторных цилиндров. Главные преимущества: малогабаритность, значительное увеличение тока холодной прокрутки, долговечность. Недостаток — высокая стоимость.

Основное назначение АКБ на борту автомобиля — это работа на электростартер при пуске двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Именно поэтому ее часто называют стартерной аккумуляторной батареей.

В исправной автомобильной стартерной батарее отдельные аккумуляторы совершенно идентичны. Это позволяет рассматривать устройство и работу батареи на примере одного аккумулятора.

Каждый аккумулятор в АКБ представляет собой активную электрохимическую систему:

$$[-Pb][H_2SO_4 + H_2O][+PbO_2], \qquad (2.1)$$

включающую в себя пластины из губчатого свинца Pb и пластины из двуокиси свинца PbO_2, которые разделены друг от друга сепараторами, помещены в кислотостойкую аккумуляторную банку и залиты сернокислотным электролитом $H_2SO_4 + H_2O$.

В общем случае электролит — это жидкое, желеобразное или даже твердое химическое соединение, обладающее ярко выраженной ионной электропроводностью. В таких веществах имеет место электролитическая диссоциация, т.е. полный или частичный распад растворенного вещества на ионы вследствие его взаимодействия с растворителем.

В автомобильных аккумуляторах электролитом является 30%-ный водный раствор серной кислоты H_2SO_4 в дистиллированной воде H_2O с массовой концентрацией в 28...40% и с плотностью 1,21...1,31 г/см^3. Рабочая температура для такого сернокислотного электролита лежит в интервале –30...+50°С.

Конструктивно каждый аккумулятор содержит несколько положительных и несколько отрицательных пластин, которые по знаку полярности собраны в полублоки. Таким образом, каждый полублок представляет собой аккумуляторный электрод, набранный из параллельно соединенных пластин. При сборке аккумулятора полублоки вдвигаются друг в друга и тем самым образуют аккумуляторный моноблок. Внутри моноблока все пластины разделены сепараторами.

Классическая конструкция аккумуляторного моноблока показана в правой части рис. 2.1, а. Аналогичную конструкцию пластинчатых электродов имеют все современные батареи (рис. 2.1, б, в), кроме мо-

нолитных. Известные конструкции электродов монолитных аккумуляторов представляют собой длинные тонкие свинцовые ленты, между которыми проложены пропитанные электролитом ленточные сепараторы, и все это свернуто в трубку (рис. 2.1, г).

2.2. Устройство аккумулятора

Как положительные, так и отрицательные пластины аккумулятора содержат внутри жесткий каркас, выполненный в виде тонкой сетчатой решетки из легированного сурьмой, мышьяком, кадмием, оловом или кальцием свинцового сплава, что делает решетку жесткой. Свинцовые решетки выполняют также роль внутренних электросоединителей. Оптимальная толщина свинцовых решеток в современных аккумуляторах не превышает 1,2 мм для отрицательных и 1,5 мм для положительных электродных пластин. Масса решеток составляет около половины от полной массы электродов.

В ячейки решеток вмазываются пастообразные активные массы.

Активная масса отрицательных пластин — губчато-пористый свинец Pb с диаметром пор не более 5 мкм, а положительных пластин — мелкопористая двуокись свинца PbO_2 с ячейками 10...15 мкм.

Активные массы для электродных пластин формируются из свинцовых порошков сурика Pb_3O_4 и глета PbO, которые растираются в слабом водном растворе (5...8%) серной кислоты до пастообразного состояния. Приготовленные таким образом пасты вмазываются в ячейки свинцовых решеток. Решетки сушатся и формуются постоянным электрическим током, в результате чего на пластинах с суриком образуется красно-коричневая положительно сухозаряженная двуокись свинца PbO_2, а на пластинах с глетом — серо-бурая, отрицательно заряженная свинцовая губчатая поверхность. Адгезия (сцепление) активных масс с решетками достаточно высокая и при заливке аккумулятора электролитом еще несколько повышается за счет химического спекания.

Для увеличения площади соприкосновения электролита с электродами активные массы имеют пористую структуру. Такая структура на положительных пластинах PbO_2 создается добавлением в сурик Pb_3O_4 расширительных волокон, например из полипропилена. Помимо расширения, волокна армируют двуокись свинца. На отрицательных пластинах пористость создается вспениванием микрочастиц порошкового глета PbO при его электротермическом преобразовании в губчатый свинец в присутствии микрозернистого, например гуматного, расширителя и сернокислого бария $BaSO_4$.

Сразу после изготовления электродных пластин пористые ячейки в активных массах непроницаемы, так как между пустотами остаются тонкие пленочные перегородки. После первичной заливки аккумулятора пленочные перегородки протравливаются серной кислотой, что приводит к образованию микроканалов для проникновения электролита в глубину активных масс. При этом в губчатом свинце образуются микроканалы с проходным сечением в 20...25 мкм^2, а в массе двуокиси свинца, наполненной волокнистым расширителем, каналы достигают сечений в 250 мкм^2. Микроканалы увеличивают рабочую поверхность электродных пластин в 50-80 раз по сравнению с их геометрическими размерами.

Технология изготовления ленточных электродов для трубчатых аккумуляторов аналогична производству оксидных конденсаторов. Однако состав свинцовых сплавов для электродных лент и состав веществ для активных реагентов разработчиком и фирмами-изготовителями не публикуются.

Сепаратор, расположенный между электродными пластинами, — это легко проницаемая для электролита и легко им смачиваемая сетчатая или крупнопористая пластина из кислотостойкого изоляционного материала. В качестве сепараторов используются, например, полихлорвиниловые пористые пластины (мипласт), сетчатые пластины из тонкого листового эбонита (мипор). Для монолитных аккумуляторов в качестве сепараторов применяют натуральный шелк-сырец на стекловолоконной подоснове или стекловойлок. Такие сепараторы обладают высокой гигроскопичностью и легко сворачиваются в трубки.

2.3. Электрохимические процессы в аккумуляторе

Электрохимическую систему $[-Pb][H_2SO_4 + H_2O][+PbO_2]$ свинцово-кислотного аккумулятора конструктивно можно представить в виде двух электродных пластин $+PbO_2$ и $-Pb$, опущенных в банку с сернокислотным электролитом H_2SO_4 (рис. 2.2).

Из химии хорошо известно, что если свинцовую пластину опустить в раствор серной кислоты, то на ее поверхности начнет протекать химическая реакция растворения. Отходными продуктами этой реакции станут сульфат свинца $PbSO_4$ и атомарный водород H:

$$Pb + H_2SO_4 \rightarrow PbSO_4 + 2H\uparrow. \qquad (2.2)$$

Аналогичная реакция растворения будет иметь место и на поверхности пластины, которая покрыта двуокисью свинца:

$$PbO_2 + H_2SO_4 \rightarrow PbSO_4 + H_2O + O\uparrow. \qquad (2.3)$$

Здесь отходные продукты — все тот же сульфат свинца, вода и свободный кислород. Стрелки вверх (↑) указывают на наличие газовыделения.

Однако химические уравнения (2.2) и (2.3) не содержат информации о промежуточных электрохимических процессах, которые приводят к появлению электрических потенциалов на электродных пластинах аккумулятора.

Восполним этот пробел следующими замечаниями.

Появление электрической разности потенциалов в любом химическом источнике тока связано с протеканием в нем окислительно-восстановительной реакции, при которой активное вещество отрицательного электрода отдает электроны, т.е. окисляется, а активное вещество положительного электрода принимает электроны и тем самым восстанавливается. Вещество, отдающее электроны, называется восстановителем электрохимической системы, а вещество, принимающее электроны — окислителем. При этом и окислитель, и восстановитель предварительно растворяются электролитом.

На положительной пластине (на окислителе) последовательность процесса растворения и появления электрического потенциала связана с восстановлением ионов свинца Pb^{4+} из двуокиси PbO_2 свинца. Сначала серная кислота, взаимодействуя с дистиллированной водой, диссоциирует, т.е. распадается на положительные ионы H^+ водорода и на отрицательные ионы HSO_4^- серной кислоты: $(H_2SO_4)\ H_2O \rightarrow (HSO_4^- + H^+)\ H_2O$. При этом электролитическая диссоциация кислоты приводит к появлению свободных носителей зарядов в электролите:

$$H_2SO_4 + H_2O = HSO_4^- + 3H^+ + 2e + O.$$

Ионизированный раствор серной кислоты HSO_4^- является активным растворителем металлов и их окислов. Поэтому на пластине $[+PbO_2]$ частично растворяется двуокись свинца с образованием сульфата свинца и двух молекул химически активной воды:

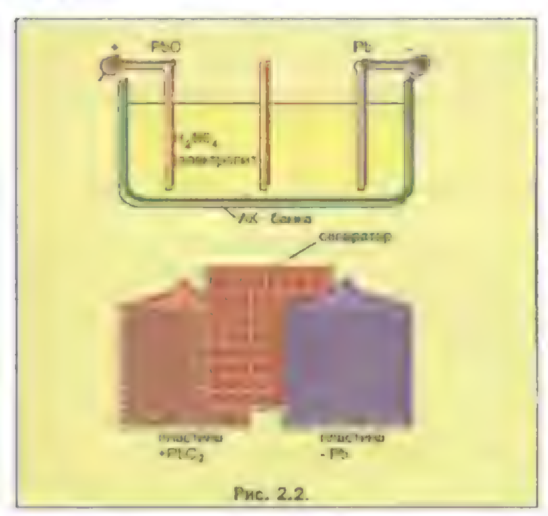


Рис. 2.2.

$$PbO_2 + (HSO_4^- + 3H^+ + 2e) = PbSO_4 + 2H_2O.$$

Молекулы H_2O, только что вышедшие из химической реакции, обладающие свойствами агрессивного растворителя, интенсивно взаимодействуют с двуокисью свинца, в результате чего образуются четырехвалентные ионы Pb^{4+} свинца и одновалентные ионы OH^- гидроксилов: $PbO_2 + 2H_2O = Pb^{4+} + 4OH^-$. Тяжелые ионы свинца не покидают пластину PbO_2 и заряжают ее положительно, а ионы OH^-, оставаясь в растворе, заряжают граничную зону электролита отрицательно.

Общее уравнение, описывающее электрохимические процессы и равновесие электрических зарядов на положительной пластине, имеет следующий вид:

$$2PbO_2 + H_2SO_4 + H_2O = 2PbO_2 + [HSO_4^- + 3H^+ + O + 2e] = [PbSO_4 + Pb^{4+}] + [4OH^- + O], \qquad (2.4)$$

где $[PbSO_4 + Pb^{4+}]$ — реагенты на пластине PbO_2; $[4OH^- + O]$ — реагенты электролитного раствора.

Из уравнения (2.4) видно, что в процессе электролитического растворения пластина PbO_2 получает положительный заряд, а раствор электролита относительно пластины PbO_2 – отрицательный.

Возникающая таким образом разность потенциалов, достигая определенных значений, прекращает растворение активной массы PbO_2, так как при этом наступает нейтрализация сил электролитического растворения силами электростатического поля. Энергия химических реакций растворения двуокиси свинца переходит в энергию электрического потенциала φ^+_0.

Уравнение (2.4) наглядно проиллюстрировано рис. 2.3, который представляет собой топограмму граничной зоны у положительной пластины $+PbO_2$ и отображает следующее:

– Электролит $(H_2SO_4 + H_2O)$ смачивает поверхность положительного электрода (блок а).

– Происходит диссоциация кислоты, и ионизированная серная кислота HSO_4^- растворяет активную массу $2PbO_2$. Свободный кислород O пузырьками выделяется в электролит (блок б).

– При растворении активной массы образуются молекулы воды H_2O и сульфат свинца $PbSO_4$. Сульфат оседает на поверхность пластины PbO_2 (блок в).

– Молекулы воды, только что вышедшие из реакции, активно растворяют двуокись свинца PbO_2 на поверхности положительной пластины (блок г).

– При растворении из двуокиси PbO_2 свинца восстанавливается чистый свинец в виде четырехвалентных ионов Pb^{4+}, которые остаются на поверхности пластины PbO_2 и заряжают ее положительно; ионы OH^- гидроксильных групп образуют условную поверхность граничной зоны и тем самым заряжают электролит отрицательно (блок д).

– Возникшая разность потенциалов (блок е) называется равновесным потенциалом положительно-

го электрода, или просто электродным потенциалом $\varphi_+ = \varphi^+_0 - \varphi^-_R$.

На отрицательной пластине (на восстановителе) имеет место электролитическое растворение свинца, при котором губчатый свинец окисляется до четырехвалентного иона Pb^{4+}. В растворении участвует серная кислота. Свинец расщепляется на положительные ионы Pb^{4+}, которые выпадают в раствор электролита и заряжают его положительно. Образовавшиеся свободные электроны остаются на поверхности свинцовых пластин, которые таким образом приобретают отрицательный заряд. Возникает разность потенциалов $\varphi_- = \varphi_0^- - \varphi^+_R$ в граничной зоне у отрицательных пластин аккумулятора, которая называется равновесным потенциалом отрицательного электрода, или электродным потенциалом φ_-. Когда потенциал φ_- уравновешивает силы растворения, электролитический процесс прекращается. Энергия химической реакции растворения губчатого свинца переходит в энергию электрического потенциала φ_-.

Общее уравнение химической реакции и электрического равновесия у отрицательных пластин имеет вид:

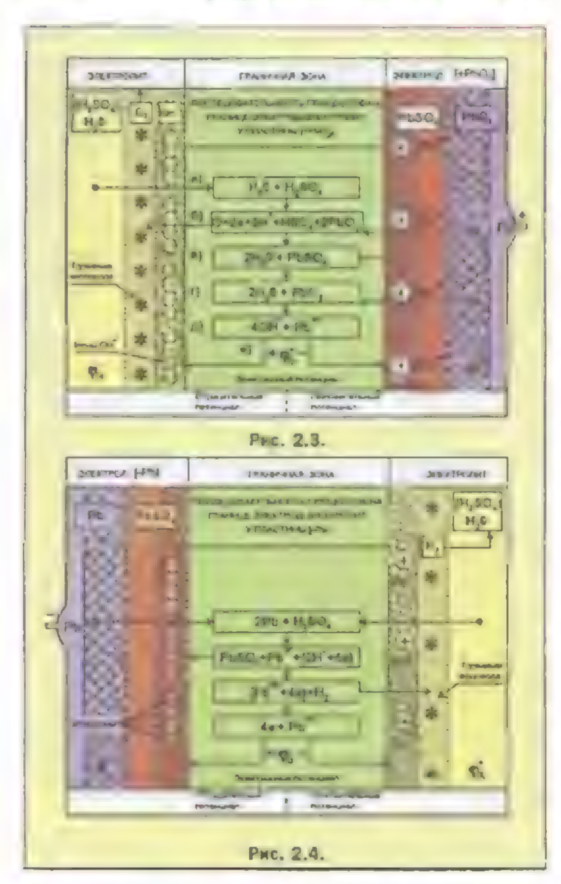


Рис. 2.3.

Рис. 2.4.

$$2Pb + H_2SO_4 \rightarrow PbSO_4 + 2e + 2H^+ + Pb^{4+} + \\ + 4e \rightarrow [PbSO_4 + 4e] + [Pb^{4+} + H_2], \qquad (2.5)$$

где $[PbSO_4 + 4e]$ — реагенты на отрицательно заряженной пластине Pb; $[Pb^{4+} + H_2]$ — реагенты в положительно заряженном электролитном растворе.

Уравнение (2.5) графически пояснено топограммой граничной зоны у отрицательной пластины –Pb (рис. 2.4).

Так происходит первичное накопление положительных электрических зарядов на пластинах PbO_2 и отрицательных зарядов — на пластинах Pb после первичной заливки аккумулятора сернокислотным электролитом.

Разность потенциалов между электродами — есть электродвижущая сила (ЭДС) E_a аккумулятора. Она определяется как разность значений электродных потенциалов $E_a = \varphi_+ - \varphi_-$ у противоположных пластин, которая для свинцово-кислотных аккумуляторов в обычных условиях в среднем равна 2,1 В. Так как число аккумуляторов в АКБ равно шести, ЭДС залитой сухозаряженной автомобильной батареи равна 12,6 В.

Из сказанного ясно, что первично сформированная ЭДС аккумуляторной батареи не является следствием ее заряда от внешнего источника электрической энергии, а есть результат начальных электрохимических превращений в сухозаряженной АКБ при ее заливке электролитом. Спустя два-три часа после заливки батарея набирает 80...90% номинальной емкости и готова к эксплуатации без подзарядки. Получается так: в аккумуляторе при его заливке электролитом часть активных масс и серной кислоты расходуется на первичное формирование разности потенциалов между электродами, тем самым аккумулятор приводится в рабочее состояние. На это затрачивается часть от номинальной емкости аккумулятора (не более 5%), которая быстро восстанавливается в первом зарядном цикле. В необслуживаемых и монолитных АКБ заправка электролитом производится в заводских условиях, где после этого емкость батареи доводится до номинальной.

2.4. Первичный разряд аккумулятора

В каждом аккумуляторе полностью заряженной батареи еще до подключения ее к внешней нагрузке на положительных электродах сосредоточено значительное количество четырехвалентных ионов Pb^{4+} свинца (см. уравнение 2.4), а на отрицательных электродах — значительное количество свободных электронов (уравнение 2.5). В электролите в граничных зонах электродов сосредотачиваются ионы гидроксильных групп OH (у пластин PbO_2) и ионы свинца Pb^{4+} (у пластин Pb). Такое состояние является состоянием устойчивого электрохимического равновесия

и может сохраняться в аккумуляторе достаточно долго. Но как только внешняя электрическая цепь будет замкнута, под действием ЭДС аккумулятора начнется движение свободных электронов через нагрузку от минусовой клеммы аккумулятора к плюсовой, а также свободных ионов внутри аккумулятора через электролит.

Так возникает электрический ток $I_р$ разряда аккумулятора. На положительных электродах под действием излишка приходящих электронов начинается восстановление четырехвалентных ионов свинца до двухвалентного состояния: $Pb^{4+} + 2e = Pb^{2+}$. На отрицательных электродах под действием истечения уходящих электронов будет иметь место окисление губчатого свинца: $Pb - 2e = Pb^{2+}$.

Образовавшиеся под действием разрядного тока двухвалентные ионы свинца и на положительных, и на отрицательных пластинах вступают в химическую реакцию сульфатации с ионизированной серной кислотой электролита. На положительных пластинах сульфатация протекает в присутствии ионов гидроксильных групп с образованием сернокислого свинца и воды:

$Pb^{2+} + HSO_4^- + OH^- \rightarrow Pb^{2+} + H^+ + SO_4^{2-} + OH^- = PbSO_4 + H_2O$.

На отрицательных пластинах аналогичная химическая реакция начинается после того, как на их поверхность поступят свободные ионы OH^- гидроксилов от положительных пластин, т.е. после возникновения разрядного ионного тока в электролите аккумулятора. Таким образом, при разряде и на положительном, и на отрицательном электродах предварительно скапливаются положительные двухвалентные ионы Pb^{2+} свинца, которые затем легко вступают в ковалентные связи с отрицательными двухвалентными ионами кислотного основания SO_4^{2-}, что и приводит к образованию сульфата свинца: $Pb^{2+} + SO_4^{2-} \rightarrow PbSO_4$.

Так как электронный ток Ip разряда протекает по внешней электрической цепи под действием установившегося на клеммах АКБ напряжения $U_{бр} = 6\ U_{ар}$, то батарея за время tp разряда совершит работу, равную электрической энергии, отданной АКБ во внешнюю цепь:

$$W = \int_0^t I_р(t)U_{бр}(t)dt.$$

Отдавая энергию, батарея разряжается, и ее напряжение $U_{бр}$ постепенно падает. Если падающее во времени значение напряжения $U_{бр}(t)$ в подынтегральном выражении заменить средним значением $U_{бр}$ за время $t_р$ разряда, то при постоянном токе $I_р$ разряда ($I_р$ = const) можно определить энергию разряда батареи: $W_{бр} = U_{бр}\ \ I_р\ t_р = U_{бр}\ C_р$, где $C_р = I_р\ t_р$ — разрядная емкость батареи. Интересно отметить, что разрядная емкость батареи равна разрядной емкости одного отдельно взятого аккумулятора, т.е. $C_р = C_{ра}$. Это имеет место потому, что емкость батареи есть токо-временной, а не энергетический показатель, и ток батареи не может быть больше тока, протекающего через один аккумулятор.

Из сказанного ясно — во время разряда АКБ отдает электрическую энергию во внешнюю цепь, при этом электроды всех ее аккумуляторов "обрастают" сульфатом свинца, а плотность электролитного раствора в аккумуляторных банках падает:

$$Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4\ (разряд) \rightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O. \quad (2.6)$$

2.5. Заряд аккумулятора от внешнего источника тока

Совершенно очевидно, что электрическая энергия электродных потенциалов, первоначально полученная в аккумуляторе за счет его заливки электролитом, рано или поздно истощится. Это может произойти как от работы аккумулятора на полезную нагрузку, так и от длительного его хранения за счет саморазряда. В этом смысле аккумуляторы ничем не отличаются от одноразовых гальванических элементов, которые относят к химическим источникам тока (ХИТ) первого рода.

Однако, электрохимическая система $[-Pb][H_2SO_4 + H_2O][+PbO_2]$ аккумулятора обладает свойствами восстановления химических реагентов под воздействием обратного тока от внешнего источника электрической энергии. При этом внешняя электрическая энергия превращается в потенциальную химическую энергию восстановленных реагентов. Химические источники тока, обладающие свойством вновь заряжаться от внешнего зарядного устройства, относятся к ХИТ второго рода. В таких источниках имеет место не накопление электрической энергии в виде энергии зарядов в конденсаторе, а аккумуляция, т.е. обратное собирание в элементах электрохимической системы химически активных реагентов, ранее растраченных на токообразование в прямом направлении.

На отрицательной пластине Pb обратное электрохимическое преобразование при заряде аккумулятора протекает по следующей закономерности:

$PbSO_4 + H_2O \rightarrow H_2SO_4 + Pb + O\downarrow$,

а на положительной пластине PbO_2:

$PbSO_4 + 2H_2O \rightarrow H_2SO_4 + PbO_2 + 2H\downarrow$.

Стрелки вниз (↓) указывают на перемещение реагентов в электролите.

Данные химические реакции протекают под воздействием внешнего электрического тока от зарядного устройства, что вначале приводит к разложению сульфата свинца на ионы:

$PbSO_4 + H_2O \rightarrow Pb^{2+} + SO_4^{2-} + H_2O$ — на отрицательной пластине;

$PbSO_4 + 2H_2O \rightarrow Pb^{2+} + SO_4^{2-} + 2H_2O$ — на положительной пластине.

Далее на отрицательной пластине двухвалентный свинец нейтрализуется поступившими от зарядного устройства электронами и происходит восстановление губчатого свинца: $Pb^{2+} + 2e = Pb$. Одновременно образуется серная кислота и отрицательный ион O^{2-} кислорода: $H_2O + SO_4^{2-} = H_2SO_4 + O^{2-}$.

На положительной пластине при избытке воды двухвалентный ион свинца отдает два электрона во внешнюю цепь (зарядному устройству) и доокисляется до четырехвалентного иона Pb^{4+}, который вступает в реакцию с водой и соединяется с двумя ионами атомарного кислорода $2O^{2-}$, за счет чего восстанавливается активная масса положительной пластины:

$Pb^{4+} + 2H_2O = PbO_2 + 4H^+$.

Здесь так же образуется серная кислота в электролите и два иона водорода:

$4H^+ + SO_4^{2-} \rightarrow H_2SO_4 + 2H^+$.

Ионизированные атомы кислорода, образовавшиеся у отрицательной пластины, и ионизированные атомы водорода, образовавшиеся у положительной пластины, в современных необслуживаемых аккумуляторах перемещаются в электролите в противоположных направлениях: отрицательные ионы O^{2-} кислорода к положительной пластине $+PbO_2$, а положительные ионы H^+ водорода — к отрицательной пластине $-Pb$. На положительных пластинах отрицательные ионы кислорода отдают электроны и переходят в атомарный кислород: $O^{2-} - 2e = O$. На отрицательных пластинах положительные ионы водорода нейтрализуются свободными электронами $2H^+ + 2e = H_2$, что приводит к «дефициту» электронов на отрицательном электроде, и как следствие — к постепенному уменьшению тока заряда. Далее на пластинах происходит накопление ионов до тех пор, пока созданный ими дополнительный электродный потенциал не повысит напряжение на клеммах аккумулятора до запорного значения $U_з = 2,5...2,7$ В. При этом внутреннее сопротивление аккумулятора резко возрастет, а ток заряда практически прекратится. Наступает состояние полного заряда (полного восстановления активных реагентов) аккумулятора. После этого вся энергия электрического тока от зарядного устройства начнет затрачиваться только на разложение воды на водород и кислород: $H_2O \rightarrow 2H + O$. В прежних конструкциях аккумуляторов в конце заряда имело место интенсивное газовыделение, что являлось признаком окончания процесса заряда. В современных необслуживаемых и монолитных аккумуляторах газовыделение не происходит, так как наступает эффект запирания зарядного тока в начале газовыделения.

Общее токообразующее уравнение химических превращений в аккумуляторе при его заряде примет вид:

$$2PbSO_4 + [3H_2O + H_2SO_4] \text{ (заряд)} \rightarrow PbO_2 + Pb + [3H_2SO_4 + H_2O]. \quad (2.7)$$

Из выражения 2.7 видно, что в процессе заряда аккумулятора восстанавливаются не только реагенты, но и увеличивается концентрация серной кислоты: в электролите свободных молекул воды становится меньше, а молекул серной кислоты больше. Ясно, что при этом увеличивается плотность электролита, которая может служить мерой заряженности аккумулятора.

2.6. Обратимость процессов в аккумуляторе

Токообразующее уравнение 2.7 показывает, что свинцово-кислотный аккумулятор при заряде не накапливает электрическую энергию, а преобразует ее в число молекул химически активных реагентов. При разряде химическая энергия реагентов в процессе реакции растворения переходит в электрическую энергию электродных потенциалов, которая и создает ЭДС аккумулятора. В уравнении 2.7 из правой и левой части можно исключить по одной молекуле воды H_2O и по одной молекуле серной кислоты H_2SO_4. Тогда станет очевидным, что выражения 2.6 и 2.7 совершенно идентичны, но направления описываемых ими электрохимических превращений противоположны. Это означает, что химические реакции разряда и заряда взаимообратимы, и для их обратимости необходимо и достаточно поменять направление тока внутри аккумулятора.

Тогда разрядно-зарядному циклу химических превращений в аккумуляторе будет отвечать уравнение общей токообразующей реакции:

$$Pb + 2H_2SO_4 + PbO_2 \leftarrow \text{(заряд)} \leftrightarrow \text{(разряд)} \rightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O. \quad (2.8)$$

Формула 2.8 отображает обратимость химических процессов, происходящих в аккумуляторе, что было впервые описано теорией двойной сульфатации еще в 1883 г. Д. Гладстоном и А. Трайбом. Эта теория применительно к свинцово-кислотным аккумуляторам говорит о том, что когда аккумулятор разряжается, часть активных химических реагентов переходит в сульфат свинца и в воду. При заряде аккумулятора химические реакции протекают в обратном направлении и активные реагенты восстанавливаются. Однако следует иметь в виду, что полного восстановления активных масс во время заряда не происходит даже в совершенно новом аккумуляторе и даже при идеальных условиях заряда. От цикла к циклу на электродах в АКБ накапливается сернокислый свинец (сульфат), и рано или поздно батарея окончательно выходит из строя. Этому же способствует и так называемый саморазряд аккумулятора, который невозможно исключить полностью.

ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Во второй главе подробно рассмотрены теоретические аспекты принципа действия и конструктивного исполнения автомобильных аккумуляторных батарей. Настоящая глава посвящена описанию основных параметров и характеристик этого устройства.

3.1. Предварительные замечания

Уже отмечалось, что идентичность отдельных аккумуляторов в исправной аккумуляторной батарее (АКБ) позволяет рассматривать ее устройство и принцип действия на примере одного аккумулятора. То же самое можно допустить при рассмотрении параметров и характеристик.

Под параметрами электротехнического устройства принято понимать совокупность эксплуатационно-технических показателей, каждый из которых отображает то или иное его свойство. Характеристикой устройства называют зависимость одного параметра от другого при постоянстве всех остальных.

К основным параметрам свинцово-кислотного аккумулятора относятся:

- электродвижущая сила ЭДС E_a (в вольтах);
- плотность электролита γ в аккумуляторе (в г/см^3);
- полное внутреннее сопротивление R_a (в омах);
- напряжение на клеммах аккумулятора U_a (в вольтах);
- номинальная емкость аккумулятора $C_н$ (в ампер-часах);
- продолжительность хранения $t_{хр}$ и срок службы $t_{сл}$ (в месяцах).

Основными характеристиками аккумулятора являются электродная характеристика $E_a = f(\gamma)$ и временные разрядно-зарядные характеристики (зависимость основных параметров от времени $t_р$ разряда или времени $t_з$ заряда).

Рассмотрим указанные параметры и характеристики свинцово-кислотного аккумулятора.

3.2. Электродвижущая сила аккумулятора

Электродвижущая сила E_a является основным параметром свинцово-кислотного аккумулятора. Она определяется активностью химических реагентов (Pb, PbO_2, H_2SO_4, H_2O), входящих в состав электрохимической системы аккумулятора, но при этом никак не зависит от количества электролита и активных масс на электродных пластинах, а также от их форм и размеров.

Величина ЭДС E_a определяется как разность равновесных электрических потенциалов φ между электродами при отсутствии протекающего через аккумулятор электрического тока: $E_a = \varphi_+ - \varphi_-$. Так как $\varphi_+ > \varphi_-$, то ЭДС всегда положительна.

Таким образом, ЭДС является стационарным физико-химическим параметром, зависящим от природы взаимодействующих реагентов и указывающим на потенциальную способность аккумулятора поддерживать на электродах электрическое напряжение в токовой цепи.

Электродвижущая сила заряженного аккумулятора сохраняется достаточно продолжительно.

Численное значение E_a может быть найдено из теоретической закономерности:

$$E_a = 2{,}047 + KT\ln a, \qquad (3.1)$$

где T — абсолютная температура; K — постоянный коэффициент, характеризующий физико-химические свойства активных масс электродов; a — коэффициент, характеризующий активность электролита.

Однако на практике пользуются эмпирической формулой для определения ЭДС:

$$E_a = 0{,}84 + [0{,}00075\,(T - 25) + \gamma_T], \qquad (3.2)$$

где выражение в квадратных скобках соответствует значению плотности γ_{25} электролита, приведенному к температуре 25°С; γ_T — плотность электролита при температуре T°С измерения.

Химическая активность реагентов, собранных в электрохимическую систему аккумулятора, слабо зависит от температуры, что наглядно может быть показано дифференцированием выражения (3.1) по температуре: $dE/dT \cong 0{,}0004$ (В/°С).

При изменении температуры от –30 до +50°С (в рабочем диапазоне для АКБ) электродвижущая сила каждого аккумулятора в батарее изменяется всего на 0,04 В. На практике таким незначительным изменением пренебрегают и считают, что ЭДС E_a, выраженная в вольтах, зависит только от приведенной плотности электролита, выраженной в г/см^3:

$$E_a = 0{,}84 + \gamma_{25}\ (B). \quad (3.3)$$

Так, если плотность электролита в банках полностью заряженной батареи при T = 25°C равна 1,28 г/см³, электродвижущая сила в каждом аккумуляторе E_a = 0,84 + 1,28 = 2,12 В, а ЭДС батареи равна 12,72 В.

Практически электродвижущую силу аккумуляторной батареи можно измерить вольтметром с высоким внутренним сопротивлением.

3.3. Плотность электролита

Электролит в автомобильном свинцово-кислотном аккумуляторе — это 30%-ный раствор серной кислоты H_2SO_4 в дистиллированной воде H_2O.

Аккумуляторная серная кислота, поступающая в продажу, содержит 94% химически чистой кислоты H_2SO_4. Она прозрачна, не имеет цвета и запаха, кипит при температуре 33°C, имеет плотность $\gamma_к$ = 1,83 г/см³. Чаще в торговую сеть поставляется электролитный раствор с плотностью $\gamma_{эл}$ = 1,4 г/см³ или с плотностью, требуемой для данного климатического региона.

Под **плотностью электролитного раствора** (или кислоты) понимают отношение массы вещества (в граммах) к занимаемому им объему (в см³). Таким образом, плотность — это параметр электролита, подобный его удельному весу. Плотности электролита 1,10...1,30 г/см³ соответствует массовая концентрация серной кислоты в 28...40%.

В исправной автомобильной аккумуляторной батарее плотность электролита может находиться в пределах от 1,07...1,3 г/см³. Разброс значений плотности электролита в банках полностью заряженной исправной АКБ не должен превышать 0,01 г/см³.

Если батарея разряжена, значение плотности в банках АКБ может быть различным. Это зависит от состояния разряженности данного аккумулятора, от его технического состояния, а также от плотности первоначально залитого в него электролита.

При выборе плотности электролита для первоначальной заливки приходится выбирать между продолжительностью срока службы АКБ, который с уменьшением плотности увеличивается, и емкостью батареи, которая с понижением плотности электролита уменьшается.

Кроме того, с увеличением плотности электролита до 1,30 г/см³ батарея может храниться при более низкой температуре ($T_{1,30}$ = −60°C) без причинения ей ущерба (без размораживания активных масс электродов).

В рабочем свинцово-кислотном аккумуляторе плотность ниже 1,07 г/см³ недопустима, и не только из-за раннего замерзания электролита ($T_{1,07}$ = −5°C), но и по причине падения емкости аккумулятора при нормальных температурных условиях (T > 10°C). Таким образом, плотность электролита во всех аккумуляторных банках автомобильной стартерной батареи должна поддерживаться одинаковой и в определенных границах в соответствии с заданными условиями эксплуатации, которые значительно отличаются для разных климатических регионов.

Таблица 3.1

[illegible]	$t_{ср}$,°C ([illegible])	[illegible]	$t_з$,°C ([illegible])	[illegible] T=25°C, [illegible]	
				[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1,28	1,30
[illegible]	−15...−5	[illegible]	[illegible]	1,24	1,26
[illegible]	[illegible]...−15	[illegible]	[illegible]	1,26	1,28
[illegible]	[illegible]	то же	[illegible]	[illegible]	1,27
[illegible]	−15...5	то же	−(50...58)	1,24	1,28
[illegible]	−5...+5	[illegible]	[illegible]	1,22	1,24
[illegible]	0...+5	то же	−(36...42)	1,20	[illegible]
[illegible]	+5...+10	то же	[illegible]	1,18	[illegible]

ГОСТ 16360-80 определяет климатические регионы по среднемесячной температуре $t_{ср}$°C воздуха в январе. С учетом требований ГОСТа составлена таблица 3.1.

Проводить сезонное изменение плотности электролита необходимо только в широтах, где средняя температура января ниже −30°C.

Электролит приготавливают вливанием кислоты в воду, а не наоборот. Важно отметить, что в начале составляют электролит в пропорции 0,42 л 94%-ной кислоты и 0,65 л дистиллированной воды. При этом получается электролит с плотностью 1,4 г/см³ (при T = 25°C). Далее электролит разбавляют до нужной плотности в дистиллированной воде. Для получения одного литра электролита требуемой плотности при эксплуатации батареи в средних широтах России 0,6 л электролита с плотностью γ_{25} = 1,40 г/см³ необходимо влить в 0,4 л дистиллированной воды. Получится электролит с плотностью γ_{25} = 1,24 г/см³. После полной зарядки плотность во всех банках АКБ достигает номинального значения 1,26 г/см³. Для московского региона круглогодичная плотность в полностью заряженной батарее несколько выше — 1,27 г/см³.

Если необходимо повысить плотность электролита непосредственно в аккумуляторе, то доливают не кислоту, а электролит с плотностью 1,4 г/см³.

При этом производят также выравнивание плотности и уровня электролита в разных банках, что делают в процессе заряда батареи.

Измеряют уровень с помощью стеклянной мерной трубочки, а плотность электролита — с помощью денсиметра (ареометра) или с помощью поплавкового плотномера. Необходимо также наличие градусника.

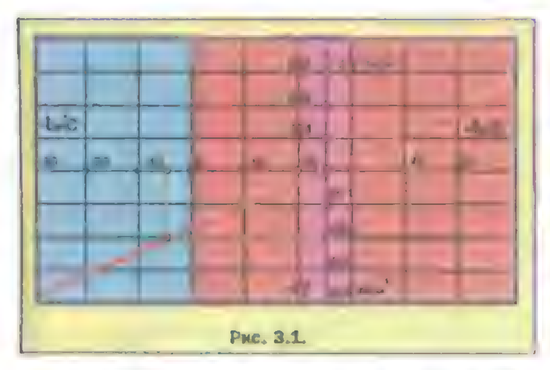


Рис. 3.1.

После измерения плотности и температуры электролита измеренную плотность приводят к температуре +25°С по формуле $\gamma_{25} = \gamma_T + 0,0007\ (T-25)$ или с помощью графика, показанного на рис. 3.1, на котором слагаемое 0,0007 (Т–25) обозначено как величина температурной поправки $\Delta\gamma$ (г/см^3).

Из графика видно, что в интервале температур (20...30°С) величина поправки $\Delta\gamma$ незначительна и ею можно пренебречь. Если же плотность электролита измеряется за пределами указанного диапазона, приведенная плотность определяется с учетом поправки: $\gamma_{25} = \gamma_T + \Delta\gamma$, где γ_T — плотность электролита при температуре измерения Т.

Например, если измеренная при температуре Т = –5°С плотность γ_T = 1,28 г/см^3, то согласно графику это означает, что при температуре +25°С плотность электролита γ_{25} = 1,28 – 0,02 = 1,26 (г/см^3).

Возможно и обратное использование графика: если известно, что при температуре +25°С плотность электролита 1,26 г/см^3, то при температуре +40°С она изменится и определится как:

$\gamma_{40} = \gamma_{25} - \gamma_T = 1,26 - 0,01 = 1,25$ (г/см^3).

Разность между плотностью полностью заряженного аккумулятора $\gamma_з$ и полностью разряженного ($\gamma_р$) при температуре 25°С всегда равна 0,16 г/см^3, а $\Delta C_р = 100\ (\gamma_з - \gamma_{25})/(\gamma_з - \gamma_р)$. Тогда, если известна начальная плотность $\gamma_н$ полностью заряженной аккумуляторной батареи, по измеренной плотности γ_T электролита можно определить степень разряженности $\Delta C_р$ (%) каждого аккумулятора в отдельности:

$$\Delta C_р = 625\ (\gamma_н - \gamma_T + \Delta\gamma)\% \qquad (3.4)$$

Следует помнить, что серная кислота, входящая в состав электролита, исключительно активное химическое вещество, способное вызвать опасные кислотные ожоги на теле человека. Парами кислоты можно отравиться. Работа с электролитом требует особой осторожности, специальной химической посуды и индивидуальных средств защиты.

3.4. Электродная характеристика аккумулятора

Отличительным свойством свинцово-кислотного аккумулятора является почти линейная зависимость ЭДС Еа от плотности γ. Эта зависимость называется электродной характеристикой и отображает влияние плотности электролита на равновесные потенциалы электродов и на электродвижущую силу аккумулятора при определенной температуре. Графики функций: $\varphi_+ = f(\gamma)$; $\varphi_- = f(\gamma)$; $E_а = f(\gamma)$ приведены на рис. 3.2.

В диапазоне изменения плотности (1,05...1,35 г/см^3) все три функции абсолютно линейны и не зависят от конструкции и степени заряженности аккумулятора.

Установлено, что ЭДС $E_а$ любого исправного свинцово-кислотного аккумулятора при плотности электролита γ = 1,30 г/см^3 и температуре $T_э$ = 20°С равна 2,1 В, а при γ = 1,10 г/см^3, ЭДС $E_а$ = 1,9 В (рис. 3.2). Однако плотность электролита незначительно уменьшается при увеличении температуры (0,0007 г/см^3 на один градус) и очень заметно увеличивается при повышении степени заряженности аккумулятора. Получается так: в разряженном аккумуляторе с плотностью $\gamma_э$ = 1,30 г/см^3 ЭДС $E_а$ = 2,1 В. А в заряженном аккумуляторе с плотностью $\gamma_э$ = 1,20 г/см^3 — ЭДС $E_а$ = 2,0 В (при одинаковой температуре аккумуляторов Т = 20°С). Таким образом, электродная характеристика показывает, что электродвижущая сила $E_а$ не может служить метрологическим параметром для определения степени заряженности (или разряженности) аккумулятора. Как было показано ранее, таким параметром является плотность электролита.

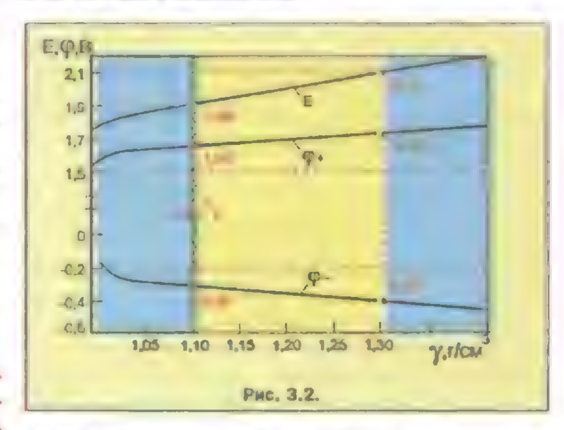


Рис. 3.2.

3.5. Внутреннее сопротивление аккумулятора

Представим теперь электрохимическую систему [–Pb] [$H_2SO_4 + H_2O$] [+PbO_2] аккумулятора в виде эле-

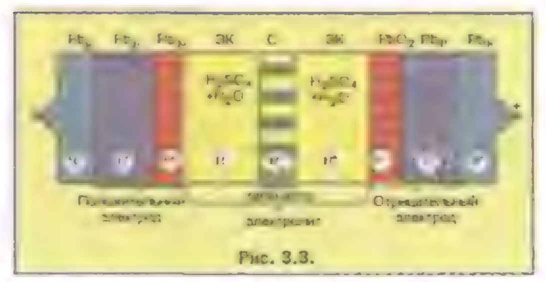


Рис. 3.3.

ментов электрической цепи. На рис. 3.3 показана модель системы, составленная из реальных резистивных масс, имеющих место в аккумуляторе: $Pb_к$ — свинцовая масса внутренних электрических соединений с омическим сопротивлением $R_{к1}$ и $R_{к2}$; $Pb_р$ — масса свинцового сплава электродных решеток с сопротивлением $R_{р1}$ и $R_{р2}$; $Pb_м$ — активная масса отрицательного электрода (губчатый свинец) с сопротивлением $R_{м1}$; ЭК — масса электролита с сопротивлением $R_{э1}$ и $R_{э2}$; С — электропроводная масса сепаратора — параллельное соединение $R_э$ и $R_с$, где $R_с$ — сопротивление материала сепаратора; PbO_2 — активная масса положительного электрода (пористый сульфат свинца) с сопротивлением $R_{м2}$.

Если допустить, что в объеме перечисленных резистивных масс удельное сопротивление распределено равномерно и по аккумулятору электрический ток не протекает, то сумму внутренних резистивностей аккумулятора (согласно рис. 3.3) можно представить как последовательное соединение сосредоточенных омических сопротивлений:

$$R_0 = [(R_{к1} + R_{к2}) + (R_{р1} + R_{р2})] + (R_{э1} + R_{э2}) + [R_э R_с/(R_э + R_с)] + (R_{м1} + R_{м2}),$$

где R_0 — суммарное сопротивление реальных внутренних резистивностей, которое называется ***внутренним омическим сопротивлением*** аккумулятора.

Если слагаемые для R_0 объединить по приблизительному равенству удельных сопротивлений, то в сумме R_0 останется четыре слагаемых: $R_0 = R_т + R_э + R_с + R_м$; все они — омические сопротивления:

$R_т$ — сопротивление внутренних тоководов $(R_к + R_р)$;

$R_э$ — сопротивление электролита $(R_{э1} + R_{э2})$;

$R_с$ — сопротивление сепаратора $[R_э R_с/(R_э + R_с)]$;

$R_м$ — сопротивление активных масс $(R_{м1} + R_{м2})$.

Сопротивление $R_э$ электролита в свинцово-кислотном аккумуляторе составляет примерно 50% от внутреннего омического сопротивления R_0.

При разряде аккумулятора активные массы +Pb и $+PbO_2$ частично превращаются в сульфат свинца $PbSO_4$, а электролит теряет часть своей кислоты. Это приводит к увеличению внутреннего омического сопротивления R_0. Еще более заметное влияние на величину R_0 оказывает температура. При изменении температуры в диапазоне (–40...+30°C) величина удельного сопротивления электролита

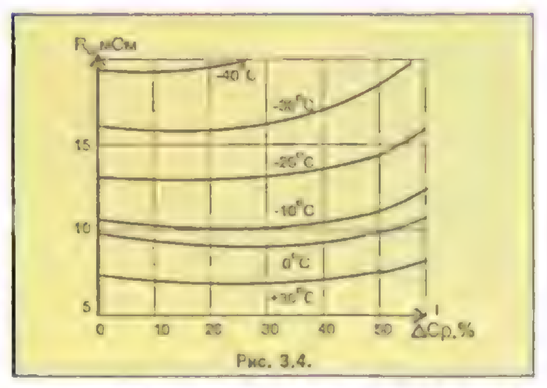


Рис. 3.4.

$r_{эт} = r_{э0}(1 + a_э T°)$ изменяется более чем в 8 раз ($a_э$ — температурный коэффициент сопротивления). При этом более чем в 3 раза изменяется внутреннее омическое сопротивление R_0 аккумулятора (см. рис. 3.4).

При прохождении тока через аккумулятор к его внутреннему омическому сопротивлению R_0 добавляется сопротивление $R_п$ токовой поляризации, и тогда **полное внутреннее сопротивление аккумулятора** определяется как: $R_в = R_0 + R_п$. Поляризационная составляющая $R_п$ полного внутреннего сопротивления $R_в$ аккумулятора в сильной степени зависит от тока через аккумулятор, а также от температуры (рис. 3.5).

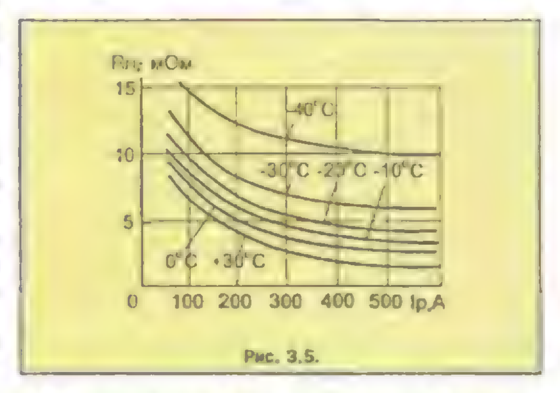


Рис. 3.5.

3.6. Напряжение аккумуляторной батареи

Напряжение $U_б$ аккумуляторной батареи — это сумма напряжений $U_а$ от шести последовательно соединенных аккумуляторов. Так как напряжения отдельных аккумуляторов равны между собой, то $U_б = 6\ U_а$.

При этом под напряжением $U_б$ понимается разность потенциалов на выводах батареи, когда по ней протекает электрический ток $I_а$. То же самое относится и к отдельному аккумулятору.

Напряжение, как и электродвижущая сила, измеряется в вольтах, но является более удобным

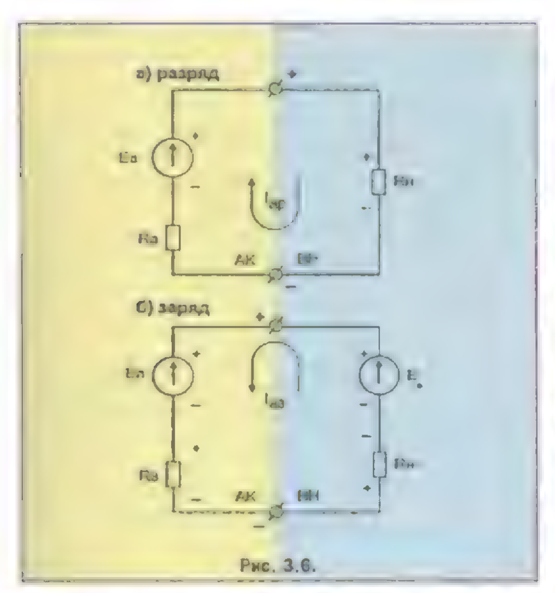


Рис. 3.6.

эксплуатационным параметром. Его принято рассматривать для каждого аккумулятора в отдельности и подразделять на напряжение разряда $U_{ар}$ и напряжение заряда $U_{аз}$. (Одним из недостатков необслуживаемых АКБ является невозможность измерения напряжения на каждом аккумуляторе в отдельности.)

Значения $U_{ар}$ и $U_{аз}$ легко определяются по эквивалентным электрическим схемам замещения (рис. 3.6).

Когда аккумулятор находится под установившимся током $I_{ар}$ разряда (рис. 3.6, а), то уравнение баланса потенциалов, согласно второму закону Кирхгофа, имеет вид: $E_а = I_{ар}(R_н + R_а) = I_{ар}R_н + I_{ар}R_а$, где $R_н$ — внешняя резистивная нагрузка; $R_а$ — полное внутреннее сопротивление аккумулятора. Тогда

$$I_{ар}R_н = U_{ар} = E_а - I_{ар}R_а. \qquad (3.5)$$

При заряде аккумулятора (рис. 3.6, б) постоянным током $I_{аз}$ баланс потенциалов в замкнутом контуре зарядной цепи определяется как равенство алгебраической суммы ЭДС и суммы падений напряжений (тот же второй закон Кирхгофа):

$E_в - E_а = I_{аз}R_а + I_{аз}R_в$, здесь $E_в$, $R_в$ — ЭДС и внутреннее сопротивление выпрямительного устройства.

Так как $E_в - I_{аз}R_в = U_{аз}$, то

$$U_{аз} = E_а + I_{аз}R_а. \qquad (3.6)$$

В алгебраической сумме ЭДС ($E_в - E_а$) знак минус означает, что $E_в$ и $E_а$ при заряде должны быть включены встречно, и $E_в$ должна быть больше $E_а$.

Таким образом, зарядное устройство подключается к АКБ по правилу "плюс с плюсом — минус с минусом и т.д.".

Из формул 3.5 и 3.6 следует, что напряжение аккумулятора при разряде меньше ЭДС $E_а$, а при заряде больше — на величину падения напряжения $U_а = I_аR_а$ на полном внутреннем сопротивлении $R_а$ аккумулятора.

Следует заметить, что на формирование текущего значения напряжения $U_а(t)$ аккумулятора как при разряде, так и при заряде большое влияние оказывают переходные процессы токовой поляризации у электродных пластин.

Эти процессы учитываются в формулах 3.5 и 3.6 полным внутренним сопротивлением $R_а$ аккумулятора: $R_а = R_0 + R_п$. В состав $R_а$ входят сопротивление $R_п$ поляризации и омическая составляющая внутреннего сопротивления — R_0.

Поляризация — это явление изменения потенциалов электродов от их значения в обесточенном аккумуляторе до значения потенциалов под током.

Скорость протекания процессов поляризации на электрических эквивалентных схемах замещения учитывается введением поляризационной емкости $C_п$.

Поляризация является основной причиной потерь внутри аккумулятора при переходе его из режима разряда в режим заряда или при обратном переходе (подробно о поляризации см. [2] и [5]).

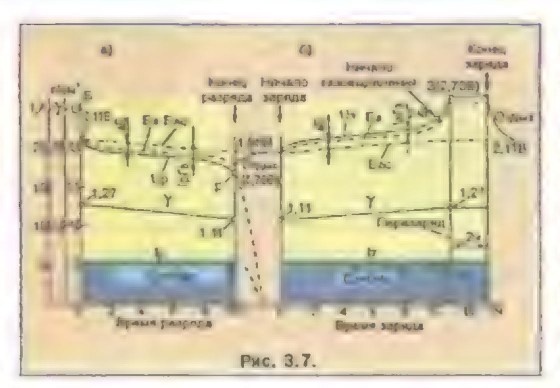
3.7. Емкость и разрядно-зарядные характеристики аккумулятора

Сухозаряженная свинцово-кислотная аккумуляторная батарея (АКБ) после первичной заливки электролитом и пропитки электродов практически полностью заряжена и готова к эксплуатации без подзарядки.

• Если теперь АКБ поставить под разряд, то в течение некоторого времени батарея будет поддерживать на нагрузке электрический ток разряда. При неизменном сопротивлении нагрузки ток разряда будет постепенно уменьшаться, пока не станет равным нулю. Тогда количество электричества, отданное батареей в нагрузку, можно определить как:

$C_п = \int_0^t I(t)\,dt$, где $C_п$ — полная емкость аккумулятора; $I(t)$ — ток разряда на постоянную нагрузку; t — продолжительность полного разряда.

За время t произойдет полный, т.е. предельно глубокий, разряд батареи (до $I_р = 0$), что в реальных условиях эксплуатации недопустимо из-за дальнейшей непригодности батареи к работе. Поэтому на практике емкость аккумулятора определяют при его частичном, например при 60%-ном разряде постоянным током $I_р$, а время разряда $t_р$ ограничивают достижением наперед заданной величины напряжения $U_р$, разряда на клеммах аккумулятора.


Рис. 3.7.

Тогда: $C_н = I_р\, t_р$, (3.7)

где $t_р$ — время разряда (в часах) постоянным током разряда $I_р$ (в амперах) до заданного напряжения разряда $U_{рк}$ (в вольтах); $C_н$ — нормированная разрядная емкость батареи (в ампер-часах).

Так как нормированная емкость $C_н$ определяется наперед заданными величинами — разрядным током $I_р$ и конечным напряжением разряда $U_{рк}$, то время разряда $t_р$ является метрологическим параметром, по которому при заданных $I_р$ и $U_{рк}$ можно определить емкость.

В формуле 3.7 конечное напряжение разряда в явном виде не присутствует, но именно по нему определяется конечное время разряда. Таким образом, величины $I_р$, $t_р$, $U_{рк}$ являются исходными параметрами выбора для определения величины нормированной емкости батареи, которая в разных странах выбирается по-разному. Общий подход такой: нормированная емкость $C_н$ должна быть меньше полной емкости $C_п$ на столько, чтобы при разряде новой полностью заряженной батареи на величину $C_н$ она не теряла бы своей способности к полному восстановлению при заряде. Кроме того, имеется в виду, что конечное напряжение разряда не может быть меньше 6 В, так как иначе нарушается работоспособность бортовых электрических и электронных устройств автомобиля. Для определения номинальной емкости батареи разряд проводят при постоянном токе $I_р = 0{,}05C_{20}$. В процессе эксплуатации значение нормированной емкости батареи принимается за номинальное (рабочее) значение $C_н$. При этом переменной величиной является напряжение разряда. Зависимость основных параметров аккумулятора от продолжительности разряда называется временными разрядными характеристиками (рис. 3.7).

Обычно считается (при T = 25°C и $I_р = 0{,}05\ C_{20}$), что при достижении конечным напряжением разряда значения $U_{рк} = 10{,}2$ В (1,7 В на отдельном аккумуляторе) батарея полностью разряжена, хотя до полного истощения ее емкости еще далеко ($C_н = 0{,}4\ C_п$).

- Величина нормированной емкости батареи, выбранная в качестве паспортного параметра, называется ***номинальной емкостью батареи***.

Согласно российскому стандарту ГОСТ 959-91Е параметрами, по которым определяется номинальная емкость новой батареи, являются температура T = 25°C, конечное напряжение разряда $U_{рк} = 10{,}2$ В, время разряда $t_р = 20$ ч, ток разряда $I_р = 0{,}05\ C_{20}$ (А), где C_{20} — емкость батареи при 20-ти часовом разряде при температуре измерения T = 25°C до значения $C_р = 0{,}4C_п$. Полная емкость $C_п$ определяется экспериментально на этапе конструктивной разработки и испытаний новой модели аккумуляторной батареи. (В обычных обслуживаемых АКБ полная емкость $C_п$ в 3-4 раза меньше теоретически возможной (конструктивной) емкости $C_к$, которая рассчитывается по количеству активных масс реагентов, затрачиваемых на получение одного ампер-часа количества электричества при разряде.) АКБ паспортизуется по номинальной емкости, которую часто указывают как C_{20}.

Однако для оценки пусковых качеств стартерной батареи ее номинальная емкость C_{20} малоинформативна. При стартерных токах разряда 200...500 А и особенно при температурах ниже –18°C количество электричества, которое может отдать батарея электростартеру, ограничивается из-за ускоренной сульфатации электродов под действием больших токов, а при понижении температуры еще и за счет загустения электролита.

Для стартерных режимов разряда ГОСТ 959-91Е рекомендует определять пусковую способность батареи при двух различных значениях температуры (25°C и –18°C) и не по номинальной емкости C_{20}, а по току разряда $I_р = 3\ C_{20}$ и по заданному конечному напряжению разряда $U_{рк}$.

Так, для необслуживаемой батареи разряд током $3\ C_{20}$ при температуре +25°C до напряжения 9 В должен длиться не менее 30 с. Это означает, что батарея номинальной емкостью C_{20} до стартерного разряда была полностью заряжена при температуре +25°C. Если батарея разряжается током $3\ C_{20}$ при температуре –18°C, то за время 30 с она должна разрядиться до напряжения $U_{рк} \geq 6$ В.

- Немецкий стандарт DIN несколько ужесточает требования к автомобильным АКБ, вводя нормирование по току холодной прокрутки. Это такой ток (близкий к значению $I_р = 3C_{20}$), при котором в конце 30-й секунды разряда при температуре –18°C конечное напряжение разряда становится равным заданной величине (для DIN $U_{рк} = 7{,}2$ В). Добавляется также требование обеспечения напряжения $U_{рк} = 6$ В в конце 150-й секунды разряда при температуре +25°C.

Английский (BSR) и американский (ASR) стандарты по основным требованиям близки к немецкому стандарту DIN.

Если на импортной батарее не указана номинальная емкость C_{20}, ее можно ориентировочно определить по току $I_{хп}$ холодной прокрутки: $C_{20} = I_{хп}/3$ (А·ч).

● Для оценки способности батареи к восприимчивости заряда введено понятие зарядной емкости $C_з$. Эта емкость определяется как количество электричества, которое необходимо сообщить каждому аккумулятору, чтобы в его электрохимической системе произошло полное восстановление химических реагентов, ранее израсходованных на прямое токообразование.

Существуют два основных способа заряда АКБ: при постоянном токе заряда ($I_з$ = const) и при постоянном напряжении ($U_з$ = const).

При постоянном токе заряда емкость определяется как $C_з = I_з t_з$, где $t_з$ — время заряда до заданного конечного напряжения заряда $U_{зк}$.

В отличие от разрядной, зарядную емкость нормировать невозможно. Ее можно только приблизительно оценить по количеству электричества, отданного зарядным устройством аккумулятору.

Для всех свинцово-кислотных аккумуляторов номинальным током заряда являются значения $I_з = 0{,}1\ C_{20}$ и $I_з = 0{,}05\ C_{20}$. Конечное напряжение заряда для различных конструкций АКБ может несколько отличаться. Для обслуживаемых батарей $U_{зк}$ = 16,2 В, для необслуживаемых $U_{зк}$ = 14,5 В.

Однако окончание заряда контролируют не только по конечному напряжению $U_{зк}$, но и по интенсивному газовыделению у обслуживаемых батарей или по резкому падению тока заряда у необслуживаемых.

В стационарных условиях АКБ чаще заряжают в режиме постоянного тока ($I_з = 0{,}05\ C_{20}$). На автомобилях — в режиме постоянного напряжения ($U_{зк}$ = 14,5 В), при ограничении максимального тока заряда значением $I_{з\ max} = (0{,}2...0{,}3)\ C_{20}$.

Время заряда непосредственно зависит от степени разряженности батареи до начала заряда и измеряется в процессе заряда в часах. Время заряда полностью разряженной батареи током $I_з = 0{,}05C_{20}$ равно 20-ти часам, а током $I_з = 0{,}1C_{20}$ — 10-ти часам.

● Зависимости всех основных параметров аккумулятора от продолжительности заряда (от времени заряда $t_з$) при постоянном токе заряда называются временными зарядными характеристиками. На рис. 3.7 приведены такие характеристики для $I_з = 0{,}1\ C_{20}$ с продолжительностью заряда 12...13 ч.

В момент включения зарядного устройства напряжение $U_з = E_{з0} + I_з R_0$ устанавливается мгновенно. Далее начинается переходный процесс токовой поляризации (нелинейный участок на зарядной характеристике) и $U_з = E_{з0} + \Delta E$, где $\Delta E = I_з R_п$ — так называемая электродвижущая сила поляризации. После этого равновесная электродвижущая сила $E_{з0}$ аккумулятора начинает линейно возрастать из-за линейного возрастания плотности электролита под действием постоянного тока заряда. Этот процесс будет длиться 8...9 ч (при $I_з = 0{,}1\ C_н$) до тех пор, пока активные массы на поверхности электродов полностью не восстановятся. Напряжение заряда на аккумуляторе станет равным 2,4 В, и далее при росте $U_з$ ток заряда будет "работать" на газообразование и разложение воды. Достигнув значения 2,7 В в обслуживаемой батарее, рост зарядного напряжения прекратится, и $U_з$ будет оставаться постоянным на протяжении всего времени последующего заряда. Участок зарядной характеристики $U_з = f(t_з)$, на котором параметры $U_з$, γ, $I_з$ длительно не изменяются, соответствует процессу **перезаряда аккумулятора.** Обычно перезаряд продолжают 2...3 ч с целью более полного восстановления активных реагентов в порах электродных масс; в этом случае перезаряд выполняет функции ремонтно-восстановительного заряда, выравнивающего в аккумуляторах батареи значения величин γ и $E_{0з}$. Во время перезаряда электролит бурлит в аккумуляторах от газовых пузырьков. **Газы, выделяющиеся из заливных отверстий, взрывоопасны.**

● Принципиальным отличием современных аккумуляторных батарей является отсутствие в них активного газовыделения, а также участка перезаряда на зарядной характеристике. Это позволяет делать АКБ необслуживаемыми (без заливных пробок) и даже монолитными (без аккумуляторных банок).

Достигнутое реализовано исключением из активных масс электродов и конструктивных свинцовых сплавов веществ, способствующих образованию газовыделения.

Очень важную роль, как положительную, так и отрицательную, в прежних конструкциях аккумуляторов играла сурьма. Она вводилась в состав свинцового сплава решеток (до 6%) для придания им требуемой жесткости. Но, попадая в электролит, сурьма понижает напряжение начала газовыделения (до $U_з$= 2,3 В), которое наступает задолго до полного заряда аккумулятора. В современных аккумуляторах процентное содержание сурьмы значительно снижено (не более 1,2%). Это позволило приблизить напряжение начала газовыделения ($U_з$ = 2,4 В) к напряжению окончания заряда ($U_з$ = 2,41 В). При достижении зарядным напряжением значения 14,5 В (2,416 В на один аккумулятор) даже при попытке удерживать $U_з$ постоянным и равным 2,45 В ток заряда начинает падать. Это приводит к эффекту запирания процесса заряда; газообразования при этом не происходит.

Разрушительный перезаряд необслуживаемой батареи может иметь место при длительном ее заряде напряжением $U_з$ более 14,6...15 В.

То, что касается жесткости пластин, которая при уменьшении содержания сурьмы ослабевает, то она компенсируется как внесением в конструктивные свинцовые сплавы новых добавок, так и новым конструк-

тивным исполнением электродов, например помещением пластин электродов в сепараторные конверты, в которых некоторое коробление пластин неопасно.

3.8. Саморазряд аккумуляторной батареи

Саморазрядом называют разряд бездействующей аккумуляторной батареи, от которой на борту автомобиля отключены все потребители или которая снята с автомобиля для хранения. Саморазряд можно подразделить на случайный, ускоренный и естественный. Случайный и ускоренный протекают непосредственно на автомобиле и являются следствием нарушения правил эксплуатации АКБ.

Случайный саморазряд — это неучтенный разряд АКБ скрытым током утечки на корпус автомобиля, например слаботочной утечкой через неисправные бортовые электронные схемы, которые постоянно подключены к АКБ.

Ускоренный саморазряд — это преждевременный разряд токами утечки через грязевые мостики снаружи батареи между ее клеммами или внутри аккумуляторов из-за наличия случайно попавших посторонних примесей, а также из-за замыкания между пластинами при осыпании активных масс.

Естественный саморазряд — это неотвратимое, присущее любому ХИТ падение его заряженности при длительном пребывании в обесточенном состоянии. Применительно к автомобильной АКБ, естественный саморазряд имеет место главным образом не на автомобиле, а при хранении на складе. Естественный саморазряд есть проявление постоянного взаимодействия химически активных реагентов аккумулятора, как между собой, так и с окружающей средой. В естественном саморазряде проявляется физическая природа активных химических веществ терять со временем свою активность.

Если АКБ не заправлена электролитом, она подвержена воздействию кислорода воздуха, его температуры и влажности. Как следствие, электроды сухозаряженных АКБ могут утратить свою активность, а свинцовые решетки и внутренние электросоединения — окислиться. Такая батарея при ее заливке электролитом не наберет номинальной емкости даже после тренировочного зарядного цикла.

Чтобы свести к минимуму вредное влияние атмосферного воздуха на батареи, хранящиеся в сухозаряженном состоянии, в последнее время заводы-изготовители стали поставлять свою продукцию потребителю только в герметичной целлофановой упаковке и в картонной коробке. В таком состоянии сухозаряженная АКБ может храниться до 3-х лет на складе при пониженной температуре.

Но особенно сложно защитить от саморазряда уже залитую электролитом и полностью заряженную АКБ. В такой батарее естественный саморазряд связан со следующими причинами:

а) оседание серной кислоты в электролите (имеет место перераспределение плотности электролита по высоте, и как следствие — возникновение внутренних токов разряда);

б) проникновение электролита к свинцовым решеткам через трещины в активных массах (вспучивание активных масс внутренней сульфатацией и возникновение разрядных токов между решеткой и активной массой);

в) появление поверхностной сульфатации на электродах и на внутренних тоководах (возникновение крупных кристаллов сульфата свинца и образование поверхностных токов утечки);

г) наличие примесей в химически активных веществах на электродах и в свинцовых сплавах решеток (образование мелких узлов сульфатации и микротоков разряда вокруг них).

Все эти причины приводят к медленному, но неотвратимому разряду запасенной в батарее емкости. Они же являются причинами сокращения срока службы АКБ.

Показателем случайного и ускоренного саморазряда является самопроизвольный разряд батареи на борту автомобиля за непродолжительное время, например за одну ночь, который проявляется по медленной прокрутке ДВС стартером в обычных условиях пуска.

- Естественный саморазряд неустраним. Он нормируется ГОСТом 959-91Е по среднесуточному разряду в процентах от номинальной емкости полностью заряженной батареи. Для обычной батареи среднесуточный разряд, рассчитанный за 14 дней хранения, не должен быть более 0,5% от C_{20} и не более 0,7%, рассчитанный за один месяц.

Для новых необслуживаемых батарей саморазряд в течение одного года не превышает 40% от номинальной емкости. Это в среднем около 0,1% саморазряда в сутки от величины C_{20} и не менее четырех лет надежной работы при правильной эксплуатации. По рекламным данным фирм, выпускающих монолитные трубчатые АКБ, их саморазряд за один год хранения не превышает 25...30% от C_{20}, а срок службы, выраженный в пусковых циклах, равен 10...12 тыс. (7-8 лет ежедневной эксплуатации.)

На рис. 3.8 показано, как снижается скорость саморазряда и увеличивается срок службы по мере совершенствования конструкций аккумуляторных батарей. На рисунке цифрами 1, 2, 3, 4 соответственно обозначены обслуживаемая, малообслуживаемая, необслуживаемая и монолитная батареи.

Следует заметить, что при любой конструкции АКБ суточный саморазряд протекает медленнее при уменьшении плотности электролита и при понижении его температуры.

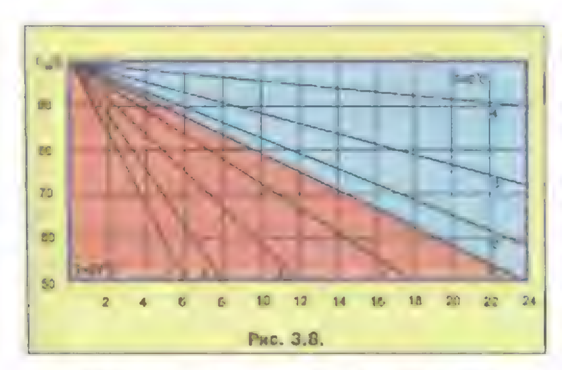


Рис. 3.8.

С уменьшением плотности электролита уменьшается концентрация серной кислоты, что понижает интенсивность растворения свинца на отрицательных пластинах. Саморазряд батареи замедляется. При изменении плотности в интервале от 1,3 до 1,15 г/см³ суточный саморазряд уменьшается на 10...15%. Срок службы батареи при этом увеличивается.

При падении температуры ниже 0°С саморазряд резко ограничивается. Из этого следует практическая рекомендация хранить залитые электролитом батареи при минусовой температуре и в полностью заряженном состоянии.

При температуре хранения T = –30°С естественный саморазряд практически прекращается. Батарея может храниться достаточно долго (более 8...10 лет) и в сухозаряженном, и в залитом состоянии.

Так же, как и при обычном разряде, плотность электролита может служить достоверной мерой саморазряда батареи ΔC (%) = 625 ($\gamma_3 - \gamma_{25}$). Именно по плотности электролита в заряженной и залитой батарее определяют состояние ее разряженности при хранении в складских условиях.

Следует отметить, что по мере углубления саморазряда скорость его возрастает. Это приводит к необходимости постоянного подзаряда АКБ во время хранения. Скорость саморазряда возрастает и к концу срока службы батареи. Батарея, потерявшая при хранении более 30...40% своей номинальной емкости, непригодна для установки на автомобиль без проведения полного цикла зарядно-разрядной тренировки в стационарных условиях.

Если после такой процедуры АКБ не набирает больше 60% от номинальной емкости, она подлежит утилизации.

В заключение приведена сводная таблица 3.2 основных параметров необслуживаемых АКБ.

Таблица 3.2. Основные параметры аккумуляторных батарей

Тип батареи	C_{20} (А·ч); $I_р$ (А)	Габариты (мм)			Вес (кг)		Объем (дм³)		Стартерный режим разряда при $T_{эл}$ = –18°С					Применяемость на а/м
		Длина	Ширина	Высота	без э/л	залит ый	э/л	АКБ	$I_р$ (А)	$U_н$ (В) на 30-й с	$t_р$ (мин) до $U_{к.р}$	η (Вт·ч/кг)	η (Вт·ч/дм³)	
6СТ-44А	44/2,2	205	175	205	–	13,9	3,8	8,0	220	7,2	–	–	–	ЗАЗ, "Москвич"
6СТ-55А	55/2,5	240	175	215	16,7	15,9	4,1	8,9	255	9,0	2,5	5,6	10,2	ВАЗ, "Москвич"
6СТ-66А	66/3,3	300	175	210	13,6	16,5	4,7	11,2	300	9,0	2,5	5,6	9,6	ГАЗ, ВАЗ
6СТ-77А	77/3,9	340	175	240	15,2	22,1	5,4	12,5	350	9,0	2,5	5,6	10,0	ГАЗель
6СТ-90А	90/4,4	380	175	210	17,0	[illegible]	6,4	13,6	410	9,0	2,5	5,3	9,5	ЗИЛ
VRLA	56/2,5	240	172	189	–	17,7	–	–	850	7,2	2,0	–	–	Импортные

А – батарея с общей крышкой (рис. 1.б), З – залитая электролитом батарея без пробок (рис. 1.в), VRLA – батарея [illegible] конструкции (рис. 1.г), Н – [illegible]

СЕРВИСНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Предыдущие главы по автомобильным аккумуляторам, вторая и третья, представляют собой краткое учебное пособие для самостоятельной подготовки специалиста частного автосервиса, имеющего желание углубить свои теоретические познания. Настоящая глава завершает тему практическими рекомендациями по техническому обслуживанию аккумуляторных батарей в условиях частного автосервиса.

4.1. Общие сведения

Современные автомобильные аккумуляторные батареи (АКБ) имеют малообслуживаемую или полностью необслуживаемую конструкцию и, в отличие от прежних, ремонту с разборкой не подлежат.

Тогда эксплуатационно-технические мероприятия по сервисному обслуживанию АКБ нового поколения сводятся к следующему:

- Хранение новых батарей, сухозаряженных или залитых.
- Первичная заливка малообслуживаемых сухозаряженных АКБ.
- Снятие АКБ с автомобиля на временное хранение.
- Профилактический подзаряд АКБ.
- Восстановительно-ремонтный (уравнительный) заряд АКБ.
- Контрольно-тренировочный зарядно-разрядный цикл.
- Сезонное обслуживание АКБ.

Сервисное обслуживание предполагает проведение работ в условиях аккумуляторного участка на станции технического обслуживания или на автотранспортном предприятии. Если имеются необходимые технические средства, то перечисленные мероприятия могут проводиться и в условиях частного автосервиса. В этом случае необходимо иметь набор следующих технических средств:

а) Специально отведенное место, поближе к вытяжке или к свежему воздуху, где следует оборудовать небольшой аккумуляторный стенд. На стенде в неприспособленном под аккумуляторный участок помещении можно проводить техническое обслуживание только одной аккумуляторной батареи. Приготовление электролита в таких условиях проводить не следует.

б) Зарядно-разрядное устройство с сетевым трансформатором ТС мощностью не менее 300...400 ВА, с комплектом измерительных приборов V, A и реостатом R (рис. 4.1).

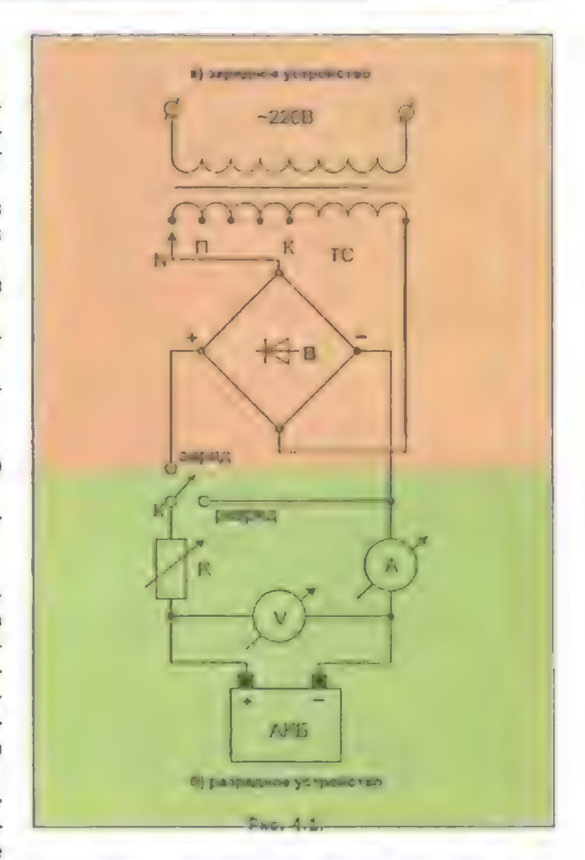


Рис. 4.1.

в) Набор аксессуаров, в который входят: часы t со звуковым сигналом; ареометр γ (денсиметр), или поплавковый плотномер; лабораторный термометр Т (10...50)°С; нагрузочная вилка НВ с удлиненным гибким проводом; три аптечные бутыли с притертыми пробками из толстого стекла разных оттенков емкостью не более 2...3 литров (для хранения дистиллированной воды, доливочного и готового к употреблению электролита); мерная посуда М и лейки Л



Рис. 4.2.

из пластмассы; захватные щипцы Щ для переноса АКБ (рис. 4.2).

г) Комплект индивидуальных средств защиты от кислотных ожогов и отравления: фартук, резиновые перчатки, защитные очки и респиратор, мыло и емкость (8...10 л) с питьевой водой (рис. 4.3).

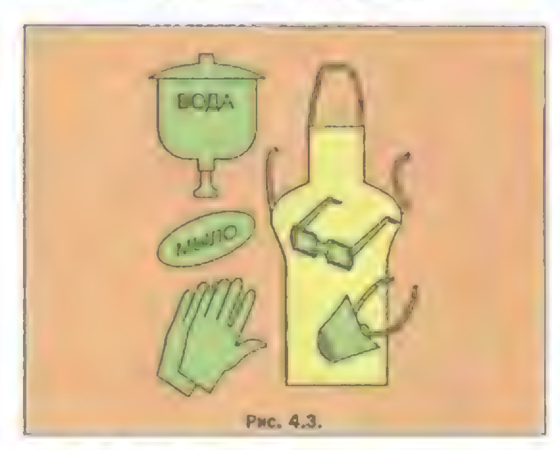


Рис. 4.3.

4.2. Хранение батарей

Срок хранения до начала эксплуатации и условия хранения малообслуживаемых сухих и необслуживаемых залитых АКБ, как правило, указаны в сервисной книжке или в прилагаемой инструкции.

Стандартные условия хранения следующие:

а) Не следует вскрывать заводскую целлофановую упаковку батареи до начала эксплуатации. Упаковка предохраняет АКБ от прямого контакта с атмосферным воздухом, кислород и влага которого ускоряют «старение» активных реагентов и токовых выводов аккумуляторной батареи. Герметично упакованная сухозаряженная АКБ может храниться до 3-х лет.

б) В летнее время хранить АКБ лучше в прохладном помещении, защищенном от прямых солнечных лучей. Зимой температура в хранилище может быть минусовой. При этом следует иметь ввиду, что АКБ с плотностью электролита $\gamma < 1{,}15$ может замерзнуть уже при –14°С. Замерзший электролит несет в себе угрозу растрескивания и последующего оползания активных масс аккумуляторов.

в) Умеренно пониженные температуры благоприятны для хранения АКБ, залитых электролитом (необслуживаемых и снятых с эксплуатации), так как при этом резко ограничивается саморазряд АКБ.

г) Общего тока саморазряда для всех аккумуляторов в АКБ быть не может, так как саморазряду подвергается каждый аккумулятор в отдельности. Если при этом в один из них случайно попадает частица грязи или металла, процесс саморазряда в этом аккумуляторе заметно ускоряется. Как следствие, в АКБ, снятой с эксплуатации после длительного ее хранения без подзаряда, наблюдается неравномерность плотности электролита, а значит, и степени разряженности аккумуляторов в разных банках. Если такую АКБ не подвергнуть уравнительному заряду, она быстро выходит из строя.

д) Саморазряд проходит медленнее при понижении температуры. Так, если заряженная АКБ хранится при температуре 0°С, то она разряжается на 0,5% за 8-9 месяцев. При температуре +15°С саморазряд протекает в 4 раза быстрее. При хранении АКБ без подзаряда в жарких регионах она полностью разрядится за один год и придет в негодность.

Из сказанного ясно, что хранить любую аккумуляторную батарею лучше при пониженной температуре.

е) Хранение снятых с эксплуатации АКБ более трех месяцев, а необслуживаемых более шести месяцев в обычных условиях без подзаряда может стать причиной заметного снижения их емкости и ускоренного старения. Подзарядка новых необслуживаемых АКБ при хранении не разрешена заводом-изготовителем. Поэтому срок хранения новых залитых электролитом необслуживаемых батарей не может быть более полугода. При покупке новой необслуживаемой АКБ это надо иметь в виду.

ж) Снятые с эксплуатации АКБ для хранения в обычных условиях должны быть сразу полностью заряжены и в дальнейшем регулярно подвергаться профилактическому подзаряду не реже одного раза в 3 месяца.

4.3. Первичная заливка аккумуляторной батареи

При первичной заливке аккумуляторов стартерной батареи в условиях частного автосервиса следует придерживаться следующих правил:

а) Нельзя приготавливать электролит из концентрированной серной кислоты в неприспособленном для этого помещении. В крайнем случае можно приготавливать электролит на открытом воздухе с соблюдением всех мер предосторожности.

б) Приготовление электролита реализуется вливанием серной кислоты в дистиллированную воду. Обратное вливание является грубейшим нарушением технической безопасности, так как может иметь место интенсивное вскипание и разбрызгивание кислоты.

в) Приготавливать и заливать электролит в АКБ следует при температуре 15...25°С. Плотность электролита, измеренная при приготовлении и заливке, приводится к температуре 25°С по формуле

$\gamma_{25} = \gamma_T + 0{,}0007\ (T - 25)$, где γ_T — плотность электролита при температуре измерения T.

г) Сначала приготавливают электролит с плотностью γ_{25} = 1,40 г/см^3, для чего в 650 объемных частей дистиллированной воды вливают 423 части концентрированной 94%-ной аккумуляторной серной кислоты. Использование технической серной кислоты недопустимо. При растворении серной кислоты в воде выделяется большое количество теплоты. Заливать в АКБ можно только остывший электролит ($15 < T_э < 25$°С).

д) Нормы расхода компонентов для приготовления 1 дм^3 (л) электролита приведены в табл. 4.1 [5].

е) При заливке электролита в АКБ приведенная плотность γ_{25} электролита обязательно указывается в сопроводительном документе на батарею — это необходимо для определения степени разряженности в дальнейшем.

ж) Плотность электролита при первичной заливке должна соответствовать климатической зоне эксплуатации АКБ, а для влажных и холодных регионов также и времени года.

и) Для предполярных и полярных широт необходимо учитывать возможность замерзания электролита в зимний период (см. табл. 4.2). Из таблицы видно, что увеличение плотности электролита выше значения 1,31 г/см^3 приводит к повышению температуры замерзания.

к) Для точной подгонки плотности электролита при его заливке в батарею необходимо иметь дистиллированную воду и электролит с повышенной плотностью 1,4 г/см^3. **Если приготовленный электролит имеет плотность ниже требуемой, то в него доливается не аккумуляторная кислота, а электролит с повышенной плотностью.** При необходимости понизить плотность в электролит доливают дистиллированную воду.

Таблица 4.1

Плотность γ_{25} электролита, приведенная к температуре 25°С, г/см^3	Количество компонентов в электролите γ_{25}, л			
	H_2O	H_2SO_4 1,83 г/см^3	H_2O	Электролит плотностью 1,40 г/см^3
1,20	0,859	0,200	–	–
1,21	0,849	0,211	0,475	0,525
1,22	0,839	0,221	0,450	0,550
1,23	0,829	0,231	0,425	0,575
1,24	0,819	0,242	0,400	0,600
1,25	0,809	0,252	0,375	0,625
1,26	0,800	0,263	0,350	0,650
1,27	0,790	0,274	0,325	0,675
1,28	0,781	0,285	0,300	0,700
1,29	0,771	0,296	0,275	0,725
1,30	0,761	0,306	0,250	0,750
1,31	0,750	0,316	0,225	0,775
1,40	0,650	0,423	–	1,000

Таблица 4.2

γ_{25} г/см^3	1,00	1,15	1,20	1,25	1,29	1,30	1,31	1,32	1,35	1,40
T°C	0	−14	−27	−50	−74	−72	−68	−64	−49	−33

л) Для удобства составления электролита с требуемой плотностью приведена табл. 4.3 [5].

4.4. Способы заряда батарей

Одной из главных процедур сервисного обслуживания аккумуляторной батареи является ее заряд в стационарных условиях.

Для заряда аккумуляторной батареи в условиях частного автосервиса необходимо иметь источник постоянного тока с регулируемым выходным напряжением $U_в$. Обычно это мощный полупроводниковый выпрямитель с сетевым трансформатором, которые совместно образуют зарядное устройство ЗУ (рис. 4.1, а).

Для заряда одной АКБ максимальное выходное напряжение ЗУ без нагрузки должно быть не менее 25...30 В, а под нагрузкой 10 А — не менее 17 В. С помощью такого зарядного устройства можно эффективно и быстро заряжать батареи с номинальной емкостью до 100 А·ч, т.е. батарею любого современного легкового автомобиля.

Следует иметь ввиду, что зарядное устройство и аккумуляторная батарея включаются встречно-параллельно («+» с «+»; «–» с «–»), и ток заряда будет иметь место только при соблюдении условия $U_в > U_{бз}$. При $U_в = U_{бз}$ ток заряда $I_з = 0$, а при $U_в < U_{бз}$ батарея начнет разряжаться на зарядное устройство.

Существует несколько способов заряда аккумуляторных батарей [2].

Таблица 4.3

Плотность электролита в аккумуляторе, г/см³	Корректировка плотности электролита в объеме 1 л									
	До 1,25 г/см³			До 1,27 г/см³			До 1,29 г/см³			До 1,31 г/см³
	Количество отбираемого электролита	Добавки, см³: Электролита плотностью 1,40 г/см³	Добавки, см³: Дистиллированной воды	Количество отбираемого электролита	Добавки, см³: Электролита плотностью 1,40 г/см³	Добавки, см³: Дистиллированной воды	Количество отбираемого электролита	Добавки, см³: Электролита плотностью 1,40 г/см³	Добавки, см³: Дистиллированной воды	Количество отбираемого электролита	Добавки, см³: Электролита плотностью 1,40 г/см³
1,24	61	62	–	175	175	–	263	266	–	–	–
1,25	–	–	–	118	119	–	215	219	–	–	–
1,26	39	–	40	65	66	–	170	180	–	[illegible]	294
1,27	78	–	80	–	–	–	172	174	–	248	249
1,28	117	–	120	40	–	40	66	64	–	190	191
1,29	157	–	161	75	–	78	–	–	–	143	143
1,30	–	–	–	109	–	113	36	–	37	79	81
1,31	–	–	–	143	–	140	72	–	75	–	–

Примечание: плотность электролита увеличивается на 0,0007 г/см³ при понижении температуры на 1°С.

Первые два из них основные и на их основе возможны комбинации:

а) Заряд при номинальном постоянном токе $I_з = 0{,}1\ C_н$ или $I_з = 0{,}05\ C_н$ (рис. 4.4, а).

б) Заряд при постоянном напряжении $U_{бз} = 14{,}5 \pm 0{,}1$ В (рис. 4.4, б).

в) Ступенчатый заряд при постоянном токе на каждой ступеньке, обычно двухступенчатый заряд при $I_{з1} = 0{,}1\ C_н$ и $I_{з2} = 0{,}05\ C_н$ (рис. 4.4, в).

г) Смешанный заряд, сначала при постоянном токе $I_з = 0{,}1\ C_н$, а затем при постоянном напряжении $U_{бз} = 14{,}5 \pm 0{,}1$ В (рис. 4.4, г).

д) Ускоренный заряд (быстрый подзаряд в экстремальных случаях) при увеличенном постоянном токе:

– при 30-минутном заряде $I_з = 0{,}7\ C_н$, $C_з = 0{,}35\ C_н$;

– при 45-минутном заряде $I_з = 0{,}5\ C_н$, $C_з = 0{,}37\ C_н$;

– при 90-минутном заряде $I_з = 0{,}3\ C_н$, $C_з = 0{,}45\ C_н$.

Для батарей, находящихся в длительной эксплуатации, ускоренный заряд проводить не рекомендуется. Это может стать причиной их выхода из строя.

е) Уравнительный заряд при постоянном токе — это длительный (не менее 10 часов) заряд током $I_з = 0{,}1\ C_н$ под обязательным контролем плотности, температуры и напряжения в каждой аккумуляторной банке. Он проводится как профилактический перед зимней эксплуатацией, или как восстановительно-ремонтный для сильно разряженной батареи в зарядно-разрядном тренировочном цикле. Уравнительный заряд обязательно предусматривает 2...3-х часовой перезаряд, в процессе которого плотность электролита и напряжение заряда в каждом аккумуляторе исправной и полностью заряженной батареи становятся одинаковыми.

ж) Перезаряд — это уравнительный заряд батареи (при $I_з$ = const; $U_з$ = const; $\gamma_э$ = const) в течение 2...3-х часов после того, как плотность электролита и напряжение заряда перестают возрастать под действием постоянного тока заряда.

и) В отличие от заряда в стационарных условиях, заряд АКБ на борту автомобиля может быть реализо-

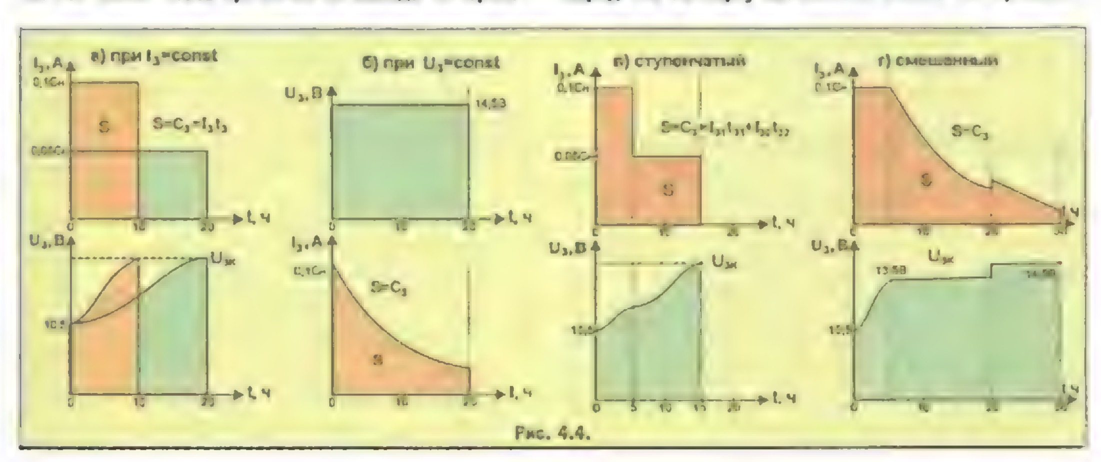


Рис. 4.4.

ван от генераторной установки только при постоянном напряжении ($U_з$ = 14,5 В), но при ограничении максимального тока заряда, который не должен быть более $I_з$ = 0,3 $C_н$. Это достигается подбором генератора и его регулятора напряжения к данному типу батареи и сезонной подстройкой регулятора. Из сказанного следует, что батарея, регулятор напряжения и автомобильный электрогенератор должны быть совместимы.

4.5. Контроль параметров при заряде

Проводя заряд аккумуляторной батареи, надо помнить следующее:

а) Перезаряд в течение более 3-х часов небезопасен для целостности активных масс на электродных пластинах аккумулятора.

б) Температура электролита при перезаряде не должна превышать 45°С.

в) Нагрев электролита при заряде АКБ свыше +45°С может стать причиной разрушения аккумуляторных электродов. Так, при температуре +60°С активные массы теряют адгезию с решетками и начинают отслаиваться и осыпаться. Это приводит к короткому замыканию в аккумуляторах. (Осыпание активных масс может иметь место и после оттаивания замерзшего в аккумуляторе электролита.)

г) Если температура электролита в одной из средних банок станет выше +45°С, заряд АКБ необходимо временно прекратить.

д) Заряд АКБ при отрицательных температурах малоэффективен. Номинальным диапазоном температур для заряда АКБ является +15°С < $T_з$ < +30°С.

е) После окончания заряда можно оценить текущее состояние генераторной установки автомобиля, на котором работала данная АКБ.

Для этого необходимо контролировать и постоянно регистрировать напряжение $U_з$ заряда, ток $I_з$ заряда, температуру $T_з$ электролита и время $t_з$ заряда. По значениям этих параметров проводится расчет степени разряженности батареи, а по степени разряженности судят о генераторной установке.

4.6. Принудительный разряд батареи

При сервисном обслуживании АКБ помимо заряда очень часто приходится проводить ее принудительный разряд. Это делается в процессе контрольно-тренировочного цикла с целью «раскачки» батареи, а также с целью определения ее рабочей емкости ($C_б$), которой батарея обладает в данном техническом состоянии (на данном этапе срока службы).

Процесс разряда следует проводить под контролем тока $I_р$ разряда и времени $t_р$ разряда до конечного напряжения $U_{бр}$ разряда.

Номинальными токами разряда для всех типов свинцово-кислотных аккумуляторов (при Т = 15...25°С) являются значения номинальных токов заряда $I_{з1}$ = 0,05 $C_н$ и $I_{з2}$ = 0,1 $C_н$. В этих условиях батарея разряжается более равномерно, т.е. с более полным участием глубинных активных масс в образовании тока разряда.

Время разряда определяется конечным напряжением разряда (10,2 В при Т = 25°С).

Для определения разрядной емкости батареи $C_{бр} = I_р\ t_р$ ток разряда $I_р$ необходимо поддерживать постоянным, что легко реализовать с помощью нижеописанного зарядно-разрядного устройства (см. далее рис. 4.6).

В тех случаях, когда такого устройства нет, разряд батареи с целью раскачки емкости проводится с применением неконтролируемого разряда. Это когда к предварительно заряженной батарее подключают лампу от автомобильной фары (12 В х 55 Вт) на десять часов и в конце разряда измеряют напряжение батареи, которое при Т = 20...25°С должно быть не менее 10,5 В (для батареи со стандартной емкостью 45...55 А•ч). Разряжать батарею до напряжения менее 10 В не следует.

Затем батарею снова заряжают и вновь разряжают на ту же лампу ($t_р$ = 10 ч). Если конечное напряжение разряда при втором разряде будет не менее первого, то батарея исправна и ее следует снова полностью зарядить. Если батарея не выдерживает тренировки, ее можно попытаться восстановить трехчасовым перезарядом или контрольно-тренировочным зарядно-разрядным циклом.

4.7. Контрольно-тренировочный цикл

Процедуры контрольно-тренировочного зарядно-разрядного цикла (КТЦ) выполняются на снятой с автомобиля батарее и сводятся к следующему:

— снятию батареи с автомобиля и проверке ее пригодности к дальнейшей эксплуатации;
— приведению работоспособной батареи к нормальному внешнему виду;
— проведению полного цикла заряда номинальным постоянным током $I_з$ = 0,1 $C_н$ с целью определения состояния разряженности батареи;
— проведению полного цикла разряда с целью тренировки батареи под нагрузкой в осветительном режиме ($I_р$ = 0,1 $C_н$);
— проведению повторного цикла заряда номинальным током $I_з$ = 0,05 $C_н$ с целью определения рабочей (остаточной) емкости батареи и остаточного срока службы;
— проведению выравнивания плотности электролита и его уровня по всем банкам в батарее;

— проведению трехчасового перезаряда батареи с целью полного восстановления активности химических реагентов в порах электродных масс;
— аттестации батареи и ее установки на автомобиль.

- КТЦ начинается с проверки пригодности батареи к дальнейшей работе на автомобиле. Для этого проводится измерение ЭДС и разрядного напряжения на клеммах каждого аккумулятора или батареи в целом с помощью аккумуляторного пробника, который иногда называют нагрузочной вилкой.

Если ЭДС батареи меньше 6 В (менее 1 В на аккумуляторе), а напряжение разряда батареи на номинальную нагрузку аккумуляторного пробника не более 3 В (0,5 В на аккумуляторе) в конце 5-ой сек разряда, то, скорее всего, АКБ к дальнейшей эксплуатации не пригодна.

- Работоспособную АКБ промывают снаружи теплой проточной водой со щеткой и удаляют затвердевшие пятна грязи (предварительно заклеив липкой лентой, например скотчем, все вентиляционные отверстия). Во время мойки батарея не должна переворачиваться или наклоняться более чем на 45 угловых градусов. После высыхания корпуса батареи его необходимо внимательно осмотреть.

- Если на корпусе мало проработавшей батареи обнаружатся места протечек электролита (короткие трещины, сколы, протертости), их можно устранить, залив повреждения эпоксидной смолой, армированной обрезками ниток стеклоткани. Залить электролит обратно в аккумулятор необслуживаемой батареи можно через просверленное сверху аккумулятора отверстие, которое после заливки электролита надо заделать.

Работы по устранению протечек хотя и относятся к мелкому ремонту, но без соответствующего опыта проводить их не следует, результат будет отрицательный. Ремонт батареи с ее разборкой для замены отдельных аккумуляторов в рамках сервисного обслуживания не практикуется.

- Затем проводят зачистку клемм АКБ крупной наждачной бумагой и проверку уровня, а также плотности электролита во всех банках. Для этого все пробки выворачивают из аккумуляторов. Аккумуляторы, уровень электролита в которых ниже электродов, обязательно доливают дистиллированной водой. Плотность электролита в банках на этом этапе выравнивать не следует, но ее и температуру электролита необходимо зафиксировать до начала заряда.

- Далее аккумуляторную батарею надо поставить под заряд ступенчатым током с контролем и регистрацией времени заряда и температуры. Начальный ток заряда устанавливают равным 0,1 C_{20} А, и заряжают батарею до напряжения 14,4±0,1 В постоянным током. Затем ток заряда уменьшают до 0,05 C_{20} А и, поддерживая его постоянным, продолжают заряд до состояния полной заряженности.

Это состояние у обслуживаемой батареи проявляется началом интенсивного газовыделения, примерным равенством и неизменностью плотности электролита в банках и достижением напряжения на аккумуляторах величины 2,65...2,7 В или 15,9...16,2 В на батарее.

- Далее необходимо зафиксировать время заряда и продолжать заряд АКБ еще два часа (при постоянных токе $I_з$ заряда, напряжении $U_з$ заряда и плотности γ электролита). За эти два часа происходит восстановительный переразряд батареи, при котором сульфат свинца растворяется в самых тонких и глубоких канальцах активных масс. По истечении двух часов перезаряда, не прерывая тока заряда, необходимо провести окончательную коррекцию плотности и уровня электролита по банкам и продолжать перезаряд еще в течение одного часа. После коррекции за один час перезаряда аккумуляторы в исправной батарее становятся идентичными по всем параметрам.

- На протяжении всего времени заряда надо следить за тем, чтобы температура электролита в одной из средних банок не стала выше 45°С. Если это произойдет, заряд надо временно прекратить.

После окончания 3-х часового перезаряда батарею необходимо обесточить и дать ей остыть до температуры в помещении 17...25°С.

- Количество электричества $C_з$, которое получит батарея за время ступенчатого заряда, можно рассчитать по формуле: $C_з = I_{з1}t_{з1} + I_{з2}t_{з2}$, где $t_{з1}, t_{з2}$ — продолжительности заряда током $I_{з1} = 0{,}1\ C_н$ и током $I_{з2} = 0{,}05\ C_н$ (в часах). Время перезаряда в продолжительность $t_{з2}$ не включается.

- Теперь АКБ необходимо поставить на тренировочный разряд током 0,05 $C_н$ А и зафиксировать время начала разряда, а также начальную температуру разряда. Поддерживая ток разряда постоянным и записывая через 2...3 часа температуру электролита, надо не пропустить тот момент, когда напряжение разряда на батарее станет равным 10,5±0,1 В или 1,75 В на отдельном аккумуляторе. Это напряжение является конечным напряжением разряда и указывает на то, что АКБ полностью разрядилась.

- Емкость $C_{бр}$, отданная батареей при разряде, определяется следующим образом:

$$C_{бр} = 0{,}05\ C_н\ t_р/[1 + 0{,}01\ (T_{ср} - 25)],$$

где $C_н$ — паспортная (номинальная) емкость батареи в ампер-часах, указанная на заводской этикетке; $t_р$ — продолжительность разряда в часах;

$T_{ср} = (T_1 + T_2 + ... + T_n)/n$ — средняя температура электролита в °С за время разряда; n — число и номер измерений.

- Величина $C_{бр}$, измеренная и рассчитанная описанным способом, называется рабочей (остаточной) емкостью батареи. Она должна быть не менее 50% от $C_н$, чтобы батарея могла еще некоторое время поработать на борту автомобиля. Батарею, еще пригодную для последующей эксплуатации с $C_{бр} > 0{,}5\ C_н$,

снова полностью заряжают постоянным током $I_з = 0,05\ C_{20}$ А в течение 20-ти часов.

- Если батарея имеет остаточную емкость менее $0,8\ C_{20}$, ее заряд током $I_з = 0,05\ C_{20}$ до состояния полной заряженности будет продолжаться менее 20-ти часов, но трехчасовой перезаряд и в этом случае необходимо выполнить.

Состояние полной заряженности аккумуляторной батареи определяют так же, как и при первом тренировочном заряде.

4.8. Тренировка необслуживаемых батарей

Что касается необслуживаемых и монолитных АКБ, то их сервисное обслуживание отличается только в части процедуры заряда. Их заряжают в основном при постоянном напряжении $U_з$ = 14,5±1 В. Однако, если батарея сильно разряжена, ее заряжают смешанным способом. Начальный ток заряда устанавливают не более $0,1\ C_н$ А и поддерживают его постоянным до тех пор, пока зарядное напряжение на батарее не станет равным 13,5±0,1 В при температуре в зарядном помещении 25±5°С. После этого батарею заряжают не менее 20-ти часов при постоянном напряжении. Далее напряжение заряда устанавливают 14,5 В и поддерживают его постоянным на протяжении десяти часов заряда. Полная заряженность необслуживаемой и монолитной батарей проявляется по резкому падению тока заряда почти до нуля (при постоянном напряжении заряда 14,5 В). Временные зарядные характеристики для случая смешанного заряда необслуживаемой АКБ приведены на рис. 4.4, г.

Если напряжение на АКБ не превысит значения 14,5 В (что иногда имеет место при заряде на борту автомобиля от генератора с неисправным регулятором напряжения), то перезаряда в необслуживаемых батареях не происходит. По этой причине даже для батарей с малой остаточной емкостью увеличение продолжительности заряда до 30-ти часов не представляет опасности. Остаточная емкость необслуживаемых и монолитных батарей определяется в режиме тренировочного разряда так же, как и для обычных АКБ. Но так как температура электролита в аккумуляторах, не имеющих пробок, измерена быть не может, в формулу для расчета $C_{бр}$ вместо средней температуры $T_{ср}$ электролита подставляют среднее значение температуры в зарядном помещении и прибавляют к нему 10°С на самопрогрев АКБ при заряде. Тогда

$$C_{бр} = 0,05\ C_{20}\ t_р / [1 + 0,001\ (T - 25)],$$

где $T = T_к + 10°С$; $T_к$ — температура в помещении (20...30°С).

4.9. Определение остаточного срока службы батареи

Степень разряженности батареи, определенная сразу после ее снятия с автомобиля, служит важным показателем технического состояния автомобильной бортовой системы электроснабжения.

Так, если после проведения контрольно-тренировочного цикла выясняется, что АКБ поступила на сервисное обслуживание со степенью разряженности более 10% от остаточной емкости $C_{бр}$, то это говорит о том, что батарея постоянно недозаряжалась автомобильным генератором. Недозарядка, как и перезарядка, понижает срок службы АКБ.

Причинами недозаряда чаще всего являются:

— слабое натяжение ремня генератора;

— несоответствие климатической зоне эксплуатации автомобиля рабочего диапазона регулирования напряжения генератора;

— низкая плотность электролита в АКБ зимой;

— скрытая неисправность в генераторе.

Основной причиной перезаряда АКБ на автомобиле является повышенное напряжение генератора. Перезаряд, полученный батареей от автомобильного генератора, проконтролирован быть не может.

Экспериментально установлено, что по остаточной емкости $C_{бр}$ можно ориентировочно определить ее остаточный срок службы $K_{ост}$ (в месяцах):

$$K_{ост} = K_б\ [(2\ C_{бр} / C_{20}) - 1],$$

где $K_б$ — номинальный срок службы батареи при соблюдении правил эксплуатации. Данная эмпирическая формула хорошо согласуется с практикой. Из этой формулы следует, что аккумуляторная батарея с остаточной емкостью менее 50% от номинальной емкости $C_н$ не имеет остаточного срока службы. Однако такую батарею можно использовать на автомобиле летом до полной выработки ресурса.

4.10. Зарядно-разрядное устройство

Практика показала, что даже глубоко разряженную батарею иногда можно привести в рабочее состояние специальными тренировками. Кроме того, нормально работающую батарею на втором-третьем году работы перед зимней эксплуатацией, необходимо подвергать профилактической тренировке.

Для проведения тренировок помимо зарядного устройства необходимо иметь устройство для разряда батареи. Оно включает в себя вольтметр постоянного тока, амперметр постоянного тока и ламповый реостат (рис. 4.1, б).

Схема для разряда батареи может быть собрана совместно с зарядным выпрямителем, и тогда полу-

чается универсальное зарядно-разрядное устройство — ЗРУ.

Отечественная промышленность малоформатные ЗРУ для обслуживания одного аккумулятора не выпускает. А такие изделия зарубежного производства имеют высокую стоимость. Поэтому для владельца частного автосервиса целесообразно изготовить зарядно-разрядное устройство своими силами.

На рис. 4.1 приведена принципиальная электрическая схема ЗРУ.

Для сборки схемы потребуется силовой трансформатор мощностью 300...400 В·А, например от старого цветного лампового телевизора; мощный полупроводниковый выпрямительный мост, диоды которого рассчитаны на прямой ток 30...50 А и на рабочее напряжение не менее 50 В; четыре мощных радиатора для выпрямительных диодов; амперметр постоянного тока со шкалой 0...30 А; вольтметр постоянного тока со шкалой 0...30 В; ламповый реостат R, изготовленный по приведенной на рис. 4.5 схеме.

Телевизионный силовой трансформатор надо разобрать и с его катушек смотать все обмотки, кроме сетевых, которые, как правило, расположены первыми к каркасу. На освободившееся место нужно намотать новую вторичную обмотку с 4-мя отводами, проводом (или плоской шиной) с двойной изоляцией и с сечением не менее 4-х кв. мм. Число витков $W_{в}$ новой обмотки следует определить экспериментально по числу витков $W_{н}$ смотанной накальной обмотки: $W_{в} = 4\ W_{н}$. Отводы нужно сделать от витков, занимающих в новой обмотке места: $0{,}5\ W_{в}$; $0{,}6\ W_{в}$; $0{,}7\ W_{в}$; $0{,}8\ W_{в}$.

После обратной сборки трансформатора необходимо проверить полученные выходные напряжения на отводах. Они должны быть близкими к ряду: 14,0; 16,5; 19,5; 22,5; 28,0 В.

Ламповый реостат можно собрать из девяти автомобильных одноконтактных электроламп 12 В х 21 Вт, каждая из которых имеет сопротивление около 7 Ом, и девяти аналогичных ламп 12 В х 4 Вт ($R_{Л}$ = 36 Ом). Конструктивно ламповый реостат собирается из 18-ти ламповых патронов, соединенных параллельно и установленных на общем алюминиевом основании, которое одновременно будет являться радиатором охлаждения для ламп.

Управлять таким реостатом очень просто: надо вынуть или вставить определенное количество электроламп. При этом общее сопротивление лампового реостата можно изменять в очень широком диапазоне от 0,65 до 36 Ом с большим числом промежуточных значений. Перемычкой всех ламп сопротивление реостата делается равным нулю.

Переключатель П можно изготовить из штекерных клемм К и гибкого провода с наконечником N, рассчитанных на ток не менее 15 А. Все элементы схемы, кроме лампового реостата и измерительных приборов, можно собрать на общей горизонтальной плате. Ламповый реостат лучше расположить сверху над трансформатором и выпрямителем на отдельном радиаторе (на приподнятом листе алюминия). Измерительные приборы следует установить на отдельной вертикальной плате.

Примером исполнения может служить конструкция зарядно-разрядного устройства, показанная на рис. 4.6.

Самое большое неудобство при работе с таким ЗРУ состоит в том, что приходится вынимать горячие лампы из гнезд при необходимости их отключения. Во избежание ожогов лампы следует вынимать в кожаной перчатке или с помощью деревянных щипцов с пенопластовыми губками. Такие щипцы надо изготовить.

R = (0...36 Ом)

P

12 В х 21 Вт

12 В х 4 Вт

Рис. 4.5.

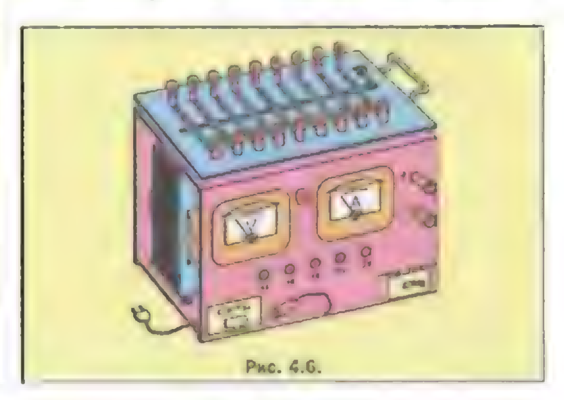


Рис. 4.6.

На описанном стенде можно проводить все виды зарядно-разрядных работ, в том числе и контрольно-тренировочный цикл.

4.11. Выводы и рекомендации

Специалисту частного автосервиса, занятому техническим обслуживанием автомобильных аккумуляторных батарей, следует иметь в виду:

- новая малообслуживаемая сухозаряженная батарея до начала эксплуатации должна храниться в герметичной целлофановой упаковке;
- срок хранения новой сухозаряженной АКБ до продажи не должен превышать 12 месяцев со времени выпуска;
- не следует покупать новую необслуживаемую залитую электролитом батарею, если вмонтированный в нее указатель степени заряженности указывает на разряженное состояние батареи;
- при самостоятельной заливке батареи электролитом необходимо строго соблюдать правила приготовления электролита и техники безопасности при работе с серной кислотой и ее растворами. Применение индивидуальных средств защиты обязательно;
- после заливки и зарядки батареи необходимо откорректировать приведенную плотность γ_{25} электролита под условия эксплуатации батареи в данном регионе и зафиксировать плотность γ_{25} в сопроводительном документе на АКБ;
- хранить АКБ следует только в заряженном состоянии и при пониженной температуре, летом в прохладном помещении, зимой — при температуре не ниже –20°С;
- снятую с автомобиля АКБ для хранения следует подзаряжать не реже одного раза в 3 месяца (в теплых регионах) и не реже одного раза в 6 месяцев (в холодных регионах);
- после 2...3-х лет эксплуатации батарею необходимо подвергать ежегодному профилактическому контрольно-тренировочному зарядно-разрядному циклу;
- номинальная (паспортная) емкость $C_н$ батареи является ее рабочим параметром только для номинальных условий эксплуатации (T = 15...30°С). При отрицательных температурах рабочая емкость полностью заряженной батареи значительно ниже паспортной;
- отдача по емкости исправной и полностью заряженной АКБ прежде всего зависит от температуры и тока разряда. В осветительном режиме (когда $I_р = 0{,}05\ C_н$ при $T > 15$°С) отдача может составить 95% от $C_н$. В режиме тока холодной прокрутки ($I_р = 3\ C_н$ при $T = -18$°С) отдача не превышает 8...10% от $C_н$.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Генератор является источником электрической энергии на автомобиле при работающем двигателе. Когда двигатель не работает, электроэнергия поступает в бортсеть от аккумуляторной батареи. Таким образом, электрогенератор и аккумуляторная батарея образуют автономную бортовую электроэнергетическую установку, которую принято называть системой электроснабжения автомобиля. Когда в этой системе применялся генератор постоянного тока, то она обладала недостаточно высокой эксплуатационной надежностью и низким качеством* вырабатываемого электричества. Кроме того, технология изготовления генераторов постоянного тока сложная и дорогостоящая. Все это привело к необходимости применения на автомобилях генераторов переменного тока, дооборудованных мощным полупроводниковым выпрямителем и электронным регулятором напряжения. Основные сведения об автомобильных электрогенераторах нового поколения рассматриваются в данной главе.

5.1. Закон электромагнитной индукции

Принцип действия любого электрогенератора основан на первом законе электромагнитной индукции.

Для одновитковой токопроводной рамки, вращающейся в постоянном магнитном поле U-образного магнита, этот закон имеет вид $E = -B\,L\,V$,

где E — электродвижущая сила (ЭДС), наведенная в рамке; B — магнитная индукция поля постоянного магнита; L — длина той части рамки, которая находится в магнитном поле; V — вектор линейной скорости перемещения рамки относительно неподвижного магнитного поля.

Если рамка содержит несколько витков W, то индуцированная ЭДС Ек является суммой электродвижущих сил в этих витках и определяется как:

$$E_к = -W\,B\,L\,V. \qquad (5.1)$$

Знак "минус", который часто опускается, но всегда подразумевается, означает, что если под действием ЭДС $E_к$ по рамке начнет протекать электрический ток (при подключении нагрузки), то созданное этим током магнитное поле будет противодействовать механической силе F, приводящей рамку во вращение.

Формула 5.1, отображающая закон электромагнитной индукции для многовитковых рамок, может быть представлена в другом виде, если линейную скорость V перемещения витков рамки L относительно магнитного поля B выразить через путь dx перемещения витков W по периметру окружности вращения с диаметром X за время dt поворота рамки на соответствующий угол. Тогда $V = dx/dt$, и формула для ЭДС Ек несколько изменится: $E_к = -W\,B\,L\,V = -W\,B\,L\,dx/dt$.

* См. сноску на стр. 12 главы 1.

Выражение B L dx соответствует изменению магнитного потока dΦ при повороте рамки на шаг dx за время dt.

Изменение магнитного потока реализуется вращением ротора с диаметром X в магнитопроводе статора, когда площадь витка ротора ($S = LX$), пронизанная магнитным потоком $\Phi = BS$, постоянно изменяется во времени t, и тогда:

$$E_к = -W_к\,d\Phi/dt. \qquad (5.2)$$

Эта формула является основным расчетным выражением для определения индуцированной электродвижущей силы $e_ф$, возникающей в фазных обмотках электрических машин переменного тока под воздействием изменения магнитного потока через обмотки:

$e_ф = -W_ф\,d\Phi/dt =$
$-W_ф\,d\Phi_m \cos \omega t/dt = E_{фm} \sin \omega t$, где Φ_m и $E_{фm}$ — амплитудные значения величин Φ и ЭДС $e_ф$.

При этом под фазной обмоткой подразумевают электропроводную катушку, в которой наводится ЭДС $e_ф$ и которая в генераторах переменного тока всегда расположена на неподвижном статоре.

5.2. Модели автомобильных генераторов переменного тока

Генератор — это такая электрическая машина, которая способна непрерывно вырабатывать электрическую энергию из механической. Генераторы бывают постоянного и переменного тока.

Наиболее просто непрерывность работы генератора переменного тока можно обеспечить вращением постоянного магнита в неподвижном магнитопроводе статора, на котором размещена фазная обмотка.

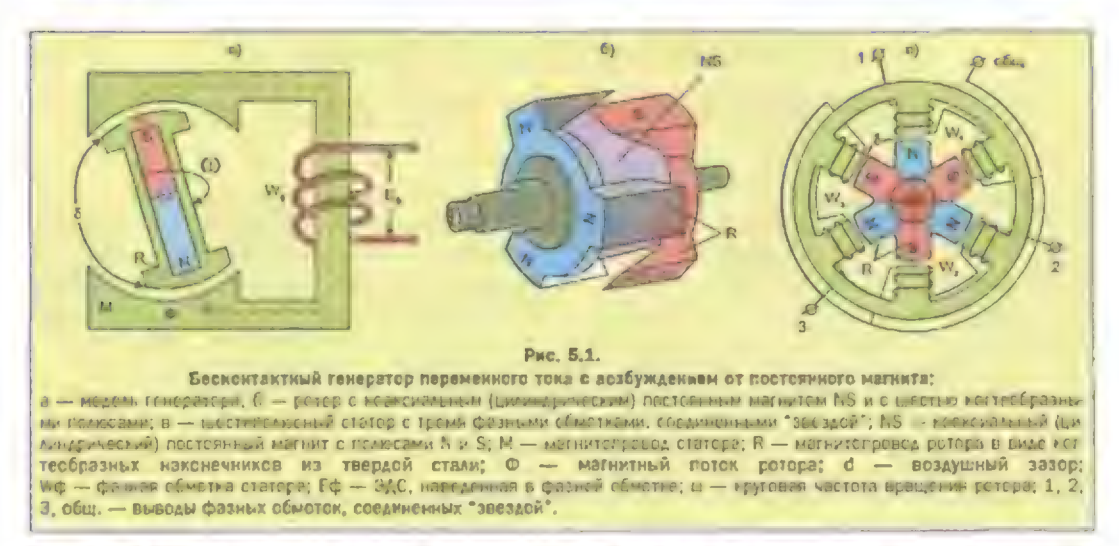


Рис. 5.1.

Бесконтактный генератор переменного тока с возбуждением от постоянного магнита:

а — модель генератора, б — ротор с коаксиальным (цилиндрическим) постоянным магнитом NS и с шестью когтеобразными полюсами; в — шестиполюсный статор с тремя фазными обмотками, соединенными "звездой"; NS — коаксиальный (цилиндрический) постоянный магнит с полюсами N и S; M — магнитопровод статора; R — магнитопровод ротора в виде когтеобразных наконечников из твердой стали; Ф — магнитный поток ротора; d — воздушный зазор; Wф — фазная обмотка статора; Eф — ЭДС, наведенная в фазной обмотке; ω — круговая частота вращения ротора; 1, 2, 3, общ. — выводы фазных обмоток, соединенных "звездой".

На рис. 5.1, а представлена модель однофазного синхронного генератора переменного тока с возбуждением от постоянного магнита, в котором вращающийся ротор — это двухполюсный постоянный магнит NS, а неподвижный магнитопровод M с одной фазной обмоткой $W_ф$ — это статор. Синхронным он назван потому, что электрическая частота наведенной в фазной обмотке ЭДС $e_ф$ строго соответствует (синхронна) частоте вращения постоянного магнита.

Так как в данном типе генераторов отсутствует коллекторно-щеточный механизм (КЩМ), то их тоже относят к группе бесконтактных генераторов переменного тока.

В реальных генераторах переменного тока с постоянными магнитами на роторе используются многополюсная система ротора (рис. 5.1, б) и многофазная (чаще всего трехфазная) система обмоток на статоре (рис. 5.1, в).

При определенной конфигурации полюсных наконечников (на роторе и статоре) можно получить изменение электродвижущей силы генератора по закону синуса $e_ф = E_ф \sin \omega t$, где $\omega = 2 p f$ — круговая, а f — электрическая частота генератора.

Электрическая частота f генератора измеряется в герцах (1 Гц = 1/с = c^{-1}) и связана с числом оборотов (n) ротора генератора выражением $f = p n$, где p — число пар полюсов постоянного магнита ротора.

Ясно, что для генератора, модель которого показана на рис. 5.1, а, — число пар полюсов ротора равно единице. В таком случае $f_г$ (Гц) = n_R (об/с).

Если же постоянный магнит на роторе многополюсный, электрическая частота генератора $f_г$ (Гц) увеличивается в число пар полюсов. Так, для гене-

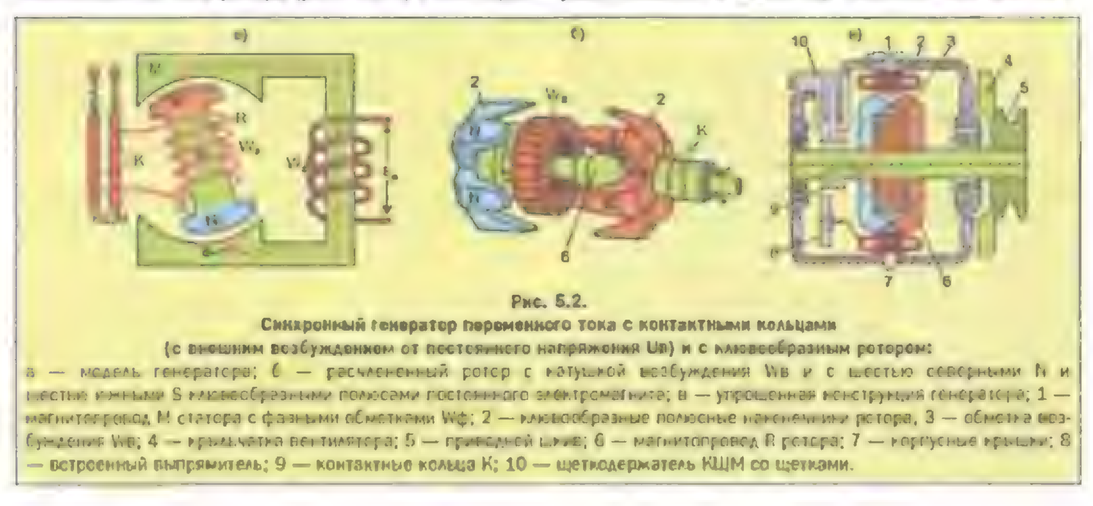


Рис. 5.2.

Синхронный генератор переменного тока с контактными кольцами (с внешним возбуждением от постоянного напряжения Uп) и с клювообразным ротором:

а — модель генератора; б — расчлененный ротор с катушкой возбуждения Wв и с шестью северными N и шестью южными S клювообразными полюсами постоянного электромагнита; в — упрощенная конструкция генератора; 1 — магнитопровод M статора с фазными обмотками Wф; 2 — клювообразные полюсные наконечники ротора, 3 — обмотка возбуждения Wв; 4 — крыльчатка вентилятора; 5 — приводной шкив; 6 — магнитопровод R ротора; 7 — корпусные крышки; 8 — встроенный выпрямитель; 9 — контактные кольца K; 10 — щеткодержатель КЩМ со щетками.



Рис. 5.3.

Индукторный генератор переменного тока с расположением обмоток Wв электромагнитного возбуждения на статоре: а — модель генератора; б — схема соединения обмоток на однофазном статоре; в — упрощенная конструкция генератора; 1 — паз ротора; 2 — подшипник; 3 — вал ротора; 4 — полюс ротора; 5 — корпус генератора; Wв, Wф — обмотки возбуждения и фазные.

ратора с тремя парами полюсов на роторе (рис. 5.1, б) электрическая частота в три раза выше частоты генератора, отвечающего модели рис. 5.1а ($f_r = p\,n = 3\,n$).

Следует заметить, что число N полюсов у ротора с постоянными магнитами может быть только четным, т.е. N всегда равно 2p, где p — любое целое положительное число (1, 2, 3...).

● Вращающийся постоянный магнит на роторе может быть и электромагнитом. Тогда на ротор помещается обмотка Wв возбуждения.

Вращающаяся обмотка возбуждения соединяется с внешней электрической цепью при помощи контактных колец на роторе и неподвижных щеток на крышке генератора, который в таком случае называется генератором переменного тока с контактными кольцами. Модель такого генератора показана на рис. 5.2, а.

Его принципиальным отличием от предыдущего генератора с постоянными магнитами является возможность изменения величины магнитодвижущей силы ротора, что позволяет регулировать величину выходного напряжения генератора. Необходимость управления напряжением автомобильного генератора связана с его работой в условиях непрерывно изменяющихся оборотов ротора. Так как в генераторе с роторной обмоткой возбуждения электродвижущая сила E_r есть функция двух переменных $E_r = f\,(B, n)$, то увеличение электродвижущей силы при повышении оборотов (n) двигателя внутреннего сгорания можно компенсировать соответствующим уменьшением тока $I_в$ возбуждения в роторной обмотке возбуждения.

Функцию управления $B = f\,(I_в)$ выполняет регулятор напряжения генератора.

● Возможен и третий вариант конструктивного исполнения автомобильного генератора переменного тока, когда ротором является магнитомягкая пассивная ферромасса (например, спрессованный набор тонких пластин из трансформаторного железа), а обмотка возбуждения постоянного магнита помещена вместе с фазной обмоткой на статоре (рис. 5.3, а).

Такие генераторы называются индукторными и в последнее время находят применение на автомобилях.

5.3. Получение синусоидальной ЭДС в автомобильных генераторах

Несмотря на простоту приведенных моделей, они позволяют наглядно представить устройство и работу электрогенераторов переменного тока (ГПТ). Вращающая часть во всех ГПТ называется ротором R. Неподвижный магнитопровод M с рабочими обмотками $W_ф$ и $W_в$ называется статором S; $W_ф$ — фазная статорная обмотка; $W_в$ — обмотка возбуждения (либо на роторе, либо на статоре). Если ротор выполнен как вращающийся электромагнит, то обмотка $W_в$ называется роторной обмоткой возбуждения.

Два магнитопровода (статорный и роторный) совместно образуют главную магнитную цепь генератора, в замкнутый контур которой обязательно входит воздушный зазор d между вращающимся ротором и неподвижным статором.

Как в электрической, так и в магнитной замкнутой цепи имеет место закон Ома: $I = U/R$. Только в магнитных цепях под током понимается магнитный поток Ф, под разностью потенциалов — магнитодвижущая сила (МДС) F, а резистивностью является магнитное сопротивление $R_м$ замкнутой магнитной цепи. Тогда $\Phi = F/R_м = FG_м$.

По аналогии с электрической, магнитная проводимость Gм определяется как обратная величина резистивности: $G_м = 1/R_м = 1/(R_0 + R_d)$.

Так как в электрических машинах магнитное сопротивление воздушного зазора R_d всегда значи-

тельно больше магнитного сопротивления R_c магнитопровода, то вся магнитодвижущая сила главного магнитного поля машины приходится на воздушный зазор.

Тогда очевидно, что изменение магнитного потока $d\Phi = d(FG_м)$ может иметь место либо при изменении МДС F_d воздушного зазора, либо при изменении магнитной проводимости G_d самого воздушного зазора. Возможно также одновременное изменение обоих параметров.

С учетом сказанного, электродвижущая сила, индуцированная в фазной обмотке $W_ф$ генератора переменного тока, может быть определена так:

$$e_ф = -W_ф\, d\Phi/dt = -W_ф d(F_d G_d)/dt. \qquad (5.3)$$

Из выражения (5.3) следует, что ЭДС $e_ф$ можно навести в фазной обмотке $W_ф$ на статоре генератора тремя способами:

а — изменением МДС F_d в воздушном зазоре, когда $e_ф = -W_ф G_d(dF_d/dt)$;

б — изменением магнитной проводимости G_d воздушного зазора, когда $e_ф = -W_ф F_d(dG_d/dt)$;

в — изменением обоих параметров одновременно, когда $e_ф = -Wф(dG_d/dt)(dF_d/dt)$.

И то, и другое, и третье можно реализовать вращением ротора относительно неподвижного статора. В этом суть принципа действия любого генератора переменного тока, в котором всегда $e_ф = W_ф\, d\Phi/dt = -W_ф\, d\Phi_m \cos \omega t/dt = E_{фm} \sin 2p\,f\,t$.

5.4. Конструктивное исполнение генераторов переменного тока

• ***Бесконтактный генератор с возбуждением от постоянного магнита.*** В генераторе, выполненном по модели рис. 5.1а, вращающийся ротор — это постоянный магнит, а фазные обмотки $W_ф$ — это катушки на неподвижном статоре. Такой генератор называется бесконтактным генератором переменного тока с возбуждением от постоянного магнита.

В генераторе реализуется принцип $E_ф = -W_ф G_d(dF_d/dt)$, при неизменной индукции B_R ротора (B_R = const). Он может быть однофазным или многофазным. Генератор прост по конструкции, надежен, не боится грязи, не требует электрического возбуждения, не имеет трущихся электроконтактов, срок службы определяется высыханием изоляции фазных обмоток. Но на современных легковых автомобилях генератор с возбуждением от постоянного магнита не применяется из-за невозможности строго поддерживать в нем постоянное рабочее напряжение при изменении оборотов двигателя внутреннего сгорания (применяется на тракторах для питания ламп в фарах).

• ***Генератор переменного тока с клювообразным ротором и с контактными кольцами,*** отвечающий модели рис. 5.2а, имеет многофазный статор, аналогичный вышеописанному (рис. 5.1, в), но ротор генератора имеет некоторые отличия: вместо постоянного цилиндрического магнита NS между клювообразными полюсами установлена обмотка $W_в$ возбуждения (рис. 5.2, б). Обмотка $W_в$ своими выводами подключена к контактным кольцам К, которые в свою очередь через щетки КЩМ соединяются с внешней электрической цепью возбуждения. Таким способом клювообразный ротор становится многополюсным постоянным электромагнитом, магнитодвижущая сила которого ($F = W_в I_в$) может легко регулироваться путем изменения тока $I_в$ возбуждения, что очень важно для автомобильных электрогенераторов. Здесь реализуется принцип $E_ф = -W_ф G_d(dF_d/dt)$, с управлением индукцией B_R ротора (B_R = var).

Генератор с клювообразным ротором и с контактными кольцами имеет самое широкое применение на современных легковых автомобилях. Упрощенная конструкция такого генератора показана на рис. 5.2, в.

• ***Индукторный генератор переменного тока.*** На рис. 5.3, а изображена модель индукторного генератора переменного тока. Основным отличием этого генератора является то, что его вращающийся ротор — это пассивная магнитомягкая ферромасса, а обмотка возбуждения $W_в$ установлена на неподвижном статоре вместе с фазными обмотками $W_ф$. Для уменьшения магнитных потерь ферромасса ротора, как и статора, выполнена набором тонких пластин из электротехнической стали. Генератор является бесконтактным.

Работа такого генератора основана на периодическом прерывании постоянного магнитного потока Φ_s статора, что при вращении ротора достигается периодическим изменением величины воздушного зазора между статором и ротором. Ясно, что при этом магнитный поток Φ_s периодически изменяется с частотой, кратной частоте вращения ротора. Таким образом, индукторный генератор является синхронным и управляется по напряжению с помощью изменения тока $I_в$ возбуждения в статорной обмотке $W_в$.

В индукторном генераторе реализуется принцип получения ЭДС путем изменения магнитной проводимости G_d в воздушном зазоре:

$E_ф = -W_ф F_d(dG_d/dt)$, при управлении величиной индукции B_s магнитного поля статора.

Соответствующим подбором конфигурации поверхности пассивного ротора и полюсных наконечников статора можно приблизить периодичность изменения магнитного потока Φ_s к синусоидальному закону, что обеспечивает синусоидальную форму рабочему напряжению генератора: $e_ф = E_ф \sin \omega t$.

Индукторный генератор, как и вышеописанные типы генераторов, может быть однофазным или многофазным. Это зависит от числа фазных катушек на статоре, от их расположения и от способа их соединения.

На рис. 5.3, б приведена схема соединения обмоток и их расположения на однофазном статоре индукторного генератора.

Многофазный индукторный генератор, упрощенная конструкция которого показана на рис. 5.3, в, обладает всеми преимуществами бесконтактных генераторов, и в последнее время стал постепенно внедряться в систему электроснабжения современного легкового автомобиля.

Так, Алтайский завод тракторного электрооборудования (АЗТЭ) освоил выпуск ряда бесщеточных индукторных генераторов для легковых автомобилей, которые поставляются в запчасти и имеются в продаже. Для автомобилей ВАЗ этот завод выпускает индукторный генератор с пятифазным статором.

Однако следует заметить, что по таким параметрам, как КПД, масса и габариты, индукторные генераторы пока уступают генераторам с контактными кольцами.

5.5. Выпрямители автомобильных генерваторов

Любой современный автомобильный генератор переменного тока обязательно содержит мощное полупроводниковое выпрямительное устройство, вмонтированное непосредственно в корпус генератора.

Выпрямитель генератора выполняет функцию преобразования синусоидального напряжения, вырабатываемого генератором, в постоянное напряжение бортовой сети автомобиля.

Простейшее звено выпрямительного устройства — это мощный полупроводниковый диод, который обладает односторонней проводимостью электрического тока. Через такой диод одна полуволна синусоидального напряжения проходит, а другая отсекается. Получается однополупериодное выпрямление однофазного синусоидального напряжения.

При выпрямлении многофазной (например, 3-х фазной) системы напряжений, которую вырабатывает современный автомобильный генератор, для двухполупериодной схемы на каждую фазу требуется по два диода.

Комбинацией полупроводниковых диодов можно создать различные схемы выпрямителей (рис. 5.4): а — однополупериодную; б — двухполупериодную; в — двухполупериодную мостовую; г — двухполупериодную многофазную.

Наибольшее распространение в автомобильных генераторах переменного тока получили двухполупериодные 3-х фазные выпрямители, собранные по



Рис. 5.4.
Схемы выпрямителей автомобильных генераторов

схеме Ларионова (рис. 5.4, г). В этой схеме для каждой фазы генератора имеет место четырехдиодная мостовая сборка (см. красную часть схемы рис. 5.4, г). Такая схема выпрямляет оба полупериода в системе линейных синусоидальных напряжений:

$U_{ф1} = u_1 \sin \omega t$

$U_{ф2} = u_2 \sin (\omega t - 120°)$

$U_{ф3} = u_3 \sin (\omega t - 240°)$.

По постоянному току схема Ларионова работает на одну общую нагрузку $R_н$.

Обмотки статора генератора при этом могут быть включены как "звездой" (рис. 5.5), так и "треугольником" (рис. 5.6).

Следует заметить, что когда максимальный ток в одной фазе генератора превышает допустимый ток для одного диода, то каждое плечо выпрямительного моста может содержать два параллельно включенных диода. Тогда в силовой диодной сборке на три фазы в выпрямителе Ларионова устанавливаются 12 диодов.

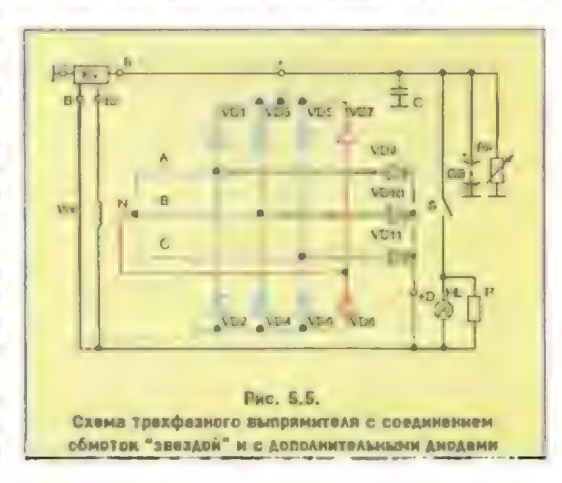


Рис. 5.5.
Схема трехфазного выпрямителя с соединением обмоток "звездой" и с дополнительными диодами

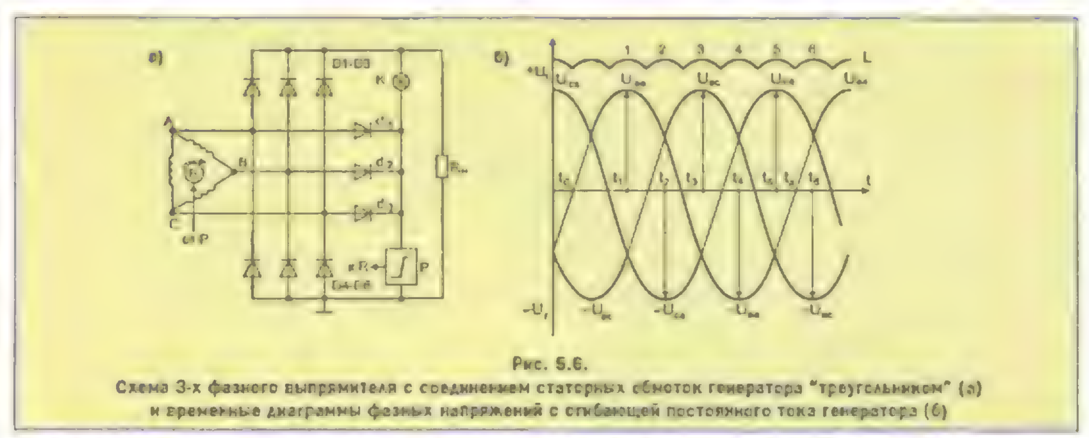


Рис. 5.6.
Схема 3-х фазного выпрямителя с соединением статорных обмоток генератора "треугольником" (а) и временные диаграммы фазных напряжений с огибающей постоянного тока генератора (б)

Все полупроводниковые диоды, которые выпускаются специально для автомобильных генераторов, имеют корпусную таблеточную конструкцию. Для удобства сборки на радиаторной плате генератора диоды прямой полярности имеют на корпусе положительный электрод, а диоды отрицательной полярности — отрицательный электрод.

В некоторых генераторах для питания обмотки возбуждения применяется отдельная группа из 3-х дополнительных диодов малой мощности прямого направления (зеленые диоды на рис. 5.5). Это исключает разряд аккумуляторной батареи полным током обмотки возбуждения при включенном зажигании, но при неработающем двигателе внутреннего сгорания. К дополнительной диодной сборке подключается и контрольная лампа HL генератора (рис. 5.5).

В автомобильных генераторах с обмотками статора, включенными по схеме "звезда", в лучах звезды имеют место третьи гармоники синусоидальных фазных напряжений. Энергия этих гармоник может быть добавлена к общей энергии генератора. Для этой цели между нулевой точкой "звезды" и выводами (+) (–) генератора устанавливаются два дополнительных силовых диода (красные диоды на рис. 5.5). Мощность генератора при этом увеличивается на 12...15%.

Автомобильные генераторы переменного тока со встроенным выпрямителем часто называют вентильными генераторами. Многофазный выпрямитель вентильного генератора дает высокую частоту и малую амплитуду пульсаций выпрямленного напряжения.

На рис. 5.6, б приведены временные диаграммы фазных напряжений U_{ab}, U_{bc}, U_{ca} для 3-х фазного статора и их совместное действие на общую нагрузку $R_н$ со стороны постоянного напряжения генератора (огибающая L).

Следует также заметить, что в современных автомобильных генераторах большой мощности ($P_г \geq 0{,}9$ кВт) чаще применяется схема включения обмоток статора "треугольником". При этом линейный ток в плече выпрямителя больше тока в фазной обмотке на величину $\sqrt{3}$, что позволяет применять более тонкий провод для фазных обмоток. Кроме того, значительно упрощается схема контрольной лампы генератора (рис. 5.6, а).

Подавляющее большинство современных автомобильных генераторов несут на своем корпусе микроэлектронный (интегральный) регулятор напряжения. Описанию этого устройства посвящена глава 7.

КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Данная глава посвящена рассмотрению конструкций современных автомобильных электрогенераторов импортного [6] и отечественного производства. Приведены требования к техническому обслуживанию автомобильных генераторов и способы их ремонта.

6.1. Современные автомобильные генераторы фирмы BOSCH

Фирма BOSCH выпускает автомобильные генераторы с 1913 года. Ею освоены все стадии совершенствования этого изделия, и в настоящее время она является передовой фирмой на мировом рынке автомобильных генераторов.

Генераторы фирмы BOSCH обладают исключительно высокой надежностью и техническим совершенством. При правильной технической эксплуатации они работают не менее 300 тыс. км пробега. По лицензиям и образцам этой фирмы изготавливается подавляющее большинство автомобильных электрогенераторов нового поколения во всех европейских странах.

● ***Генератор КС14V45/80А*** фирмы BOSCH, показанный на рис. 6.1, является новой разработкой фирмы и относится к компактным автомобильным генераторам (Compact Generator). Основные его отличия от традиционного генератора следующие:

а — на валу ротора генератора установлены две крыльчатки вентилятора, которые теперь расположены внутри корпуса генератора с обеих сторон от ротора. Это значительно увеличило воздушный поток

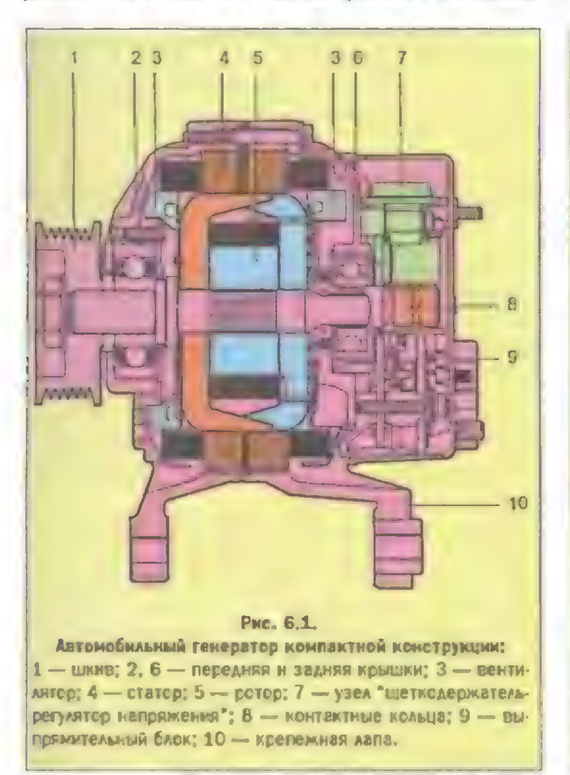


Рис. 6.1.
Автомобильный генератор компактной конструкции:
1 — шкив; 2, 6 — передняя и задняя крышки; 3 — вентилятор; 4 — статор; 5 — ротор; 7 — узел "щеткодержатель-регулятор напряжения"; 8 — контактные кольца; 9 — выпрямительный блок; 10 — крепежная лапа.

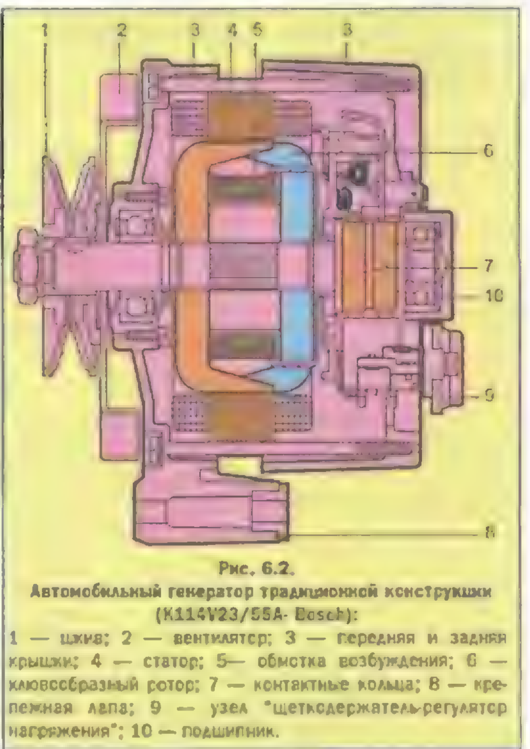


Рис. 6.2.
Автомобильный генератор традиционной конструкции (K114V23/55A- Bosch):
1 — шкив; 2 — вентилятор; 3 — передняя и задняя крышки; 4 — статор; 5— обмотка возбуждения; 6 — клювообразный ротор; 7 — контактные кольца; 8 — крепежная лапа; 9 — узел "щеткодержатель-регулятор напряжения"; 10 — подшипник.

охлаждения, и при сохранении габаритов генератора его мощность увеличилась на 10...12%;

б — контактные кольца ротора и щеткодержатель вместе с выпрямительным блоком вынесены за периферию тыльной крышки генератора, что позволило уменьшить габариты корпуса генератора, контактные кольца уменьшить в диаметре, а подшипник — перенести в воздушный поток охлаждения. Это обеспечило уменьшение износа контактных колец и щеток КЩМ и увеличило срок безотказной работы подшипников;

в — привод компактного генератора осуществляется посредством эластичного клинового (или поликлинового) ремня через проточенный приводной шкив уменьшенного диаметра. Передаточное отношение привода увеличено до 3,5. Это позволяет получать ток заряда аккумуляторной батареи уже при холостых оборотах двигателя внутреннего сгорания.

Рис. 6.3.
Конструктивные компоненты генератора K114V23/55A фирмы BOSCH:
1 — задний подшипник; 2 — обмотка возбуждения трехфазного генератора; 3 — кольцевой коллектор; 4 — ротор (вращающаяся часть) генератора; 5 — крепежная пластина; 6 — передний подшипник; 7 — крышка корпуса генератора; 8 — дистанционная шайба; 9 — крыльчатка вентилятора; 10 — приводной шкив генератора; 11 — гровершайба; 12 — стяжная гайка; 13 — интегральный регулятор KV напряжения; 14 — корпус генератора; 15 — монтажная пластина для полупроводниковых выпрямительных диодов VD; 16 — трехфазная статорная обмотка S генератора с магнитопроводом статора; B — магнитное поле между ротором и статором; АКБ — аккумуляторная батарея; d — дополнительная диодная сборка; HL — контрольная лампа генератора; S — статор; R — ротор; VD — силовые диоды; KV — интегральный регулятор напряжения.

Генератор K114V23/55A фирмы BOSCH показан на рис. 6.2. Он относится к генераторам традиционной конструкции, которая включает в себя трехфазный статор, включенный "треугольником", клювообразный ротор с контактными кольцами и с обмоткой возбуждения в виде монолитной катушки, шестидиодный силовой вентильный выпрямитель и дополнительные диоды. На валу ротора со стороны привода установлена крыльчатка вентилятора с приводным шкивом под зубчато-клиновый ремень.

Такая конструкция вентильного генератора переменного тока уже давно стала классической, и подавляющее большинство современных легковых автомобилей, как зарубежных, так и отечественных, оборудованы такими генераторами.

Комплектующие детали генератора и их взаимное расположение в генераторе показаны на конструктивном чертеже (рис. 6.3). Здесь же приведена электрическая схема генератора.

6.2. Автомобильный генератор 955.3701(АЗТЭ)

Общая характеристика. Отечественный генератор 955.3701 (рис. 6.4) Алтайского завода тракторного оборудования выпускается как альтернативная запасная часть к легковым автомобилям ВАЗ.

Этот генератор является бесщеточным (бесконтактным) индукторным генератором переменного тока с неподвижной аксиально-продольной катушкой 11 возбуждения в передней корпусной крышке генератора. Ранее такие генераторы на легковых автомобилях не применялись.

Генератор оборудован пятифазной обмоткой 5 на статоре 6, шестилучевым ротором 8 и пятифазным выпрямителем 4, собранным по схеме Ларионова (применен выпрямительный блок БПВ62-100). Имеется также дополнительная диодная сборка. Силовые диоды рассчитаны на ток 20 А, а дополнительные — на 2 А.

На задней корпусной крышке 19 генератора (снаружи) расположен интегральный регулятор 21 напряжения Я112Б с подстроечным резистором

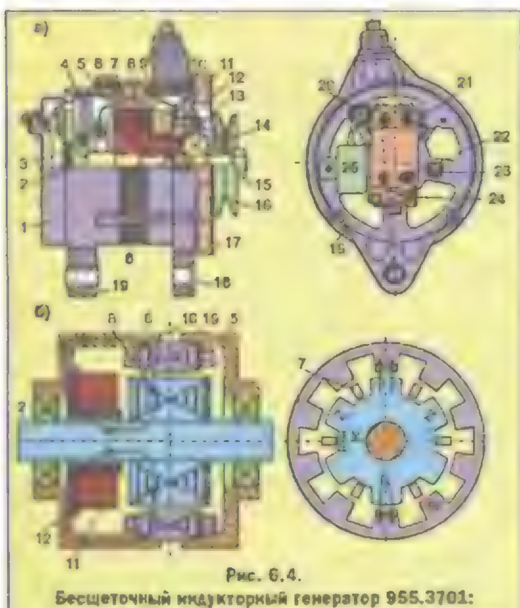


Рис. 6.4.
Бесщеточный индукторный генератор 955.3701:
1 — кожух; 2 — вал; 3, 14 — подшипники; 4 — выпрямительный блок генератора; 5 — обмотка статора; 6 — магнитопровод статора; 7 — постоянный магнит; 8 — звездочка ротора; 9 — стяжной винт; 10 — магнитопровод индуктора в передней крышке; 11 — обмотка возбуждения; 12 — втулка индуктора; 13 — втулка ротора; 15 — гайка; 16 — шкив; 17 — крыльчатка вентилятора; 18 — передняя крышка с крепежной лапой; 19 — задняя крышка; 20 — выходная клемма (+) генератора; 21 — интегральный регулятор напряжения (ИРН); 22, 23 — крепежные детали; 24 — подстроечный резистор; 25 — помехоподавительный конденсатор; Y — впадина звезды ротора; Z — зубец звезды ротора; R — ротор; S — статор.

24, включение которого обеспечивается специальным переключателем посезонной регулировки. Здесь же расположен помехоподавляющий конденсатор 25 емкостью 2,2 мкФ, который на современных генераторах переменного тока является обязательной деталью.

Ротор 8 генератора выполнен в виде шестилучевой звезды, набранной из тонких листов электротехнической стали (из магнитомягкого материала). Во впадинах звезды расположены постоянные магниты 7, которые способствуют началу самовозбуждения генератора и несколько повышают его мощность.

На передней крышке 18 (изнутри) располагается индуктор с магнитопроводом 10 и с втулкой 12, на которую намотана обмотка возбуждения 11. Назначение индуктора — создавать на статоре главное магнитное поле генератора. Поскольку рассматриваемый генератор имеет смешанное возбуждение (от постоянных магнитов и от индукторной обмотки возбуждения), то для расширения рабочего диапазона регулирования тока возбуждения на индукторную втулку 12, кроме основной обмотки возбуждения 11, намотана встречно ей включенная размагничивающая обмотка Wp, нейтрализующая действие постоянных магнитов на высоких оборотах ротора генератора.

Магнитные цепи и ЭДС генератора. Магнитные цепи индукторного генератора 955.3701 показаны на рис. 6.4, б.

Обмотка статора расположена на десяти зубцах статорного магнитопровода (зубцовый шаг 36°) и разбита на пять фазных секций по две зубцовых катушки в каждой секции. Зубцовые катушки одной и той же фазной секции разнесены друг от друга по периметру внутренней окружности статора на 180 угловых градусов. Таким образом, 10-ти катушечная статорная обмотка является пятифазной. Фазные секции соединены между собой в пятиугольник.

Возможны и другие варианты исполнения статора.

Ротор генератора представляет собой шестилучевую звезду Z из магнитомягкого материала.

Таким образом, в магнитные цепи генератора входят: 10-ти зубцовый магнитопровод статора 6, магнитопроводная шестилучевая звезда ротора 8 и индукторная втулка 12.

При вращении звезды Z под каждым зубцом статора перемещается то зубец, то впадина звезды Z, и процесс повторяется через 60° поворота ротора. При этом меняется воздушный зазор между статором и ротором, а, следовательно, и магнитное сопротивление R_δ зазора (см. рис. 5.3 в главе 5). В результате магнитный поток в воздушном зазоре индукторного генератора изменяется от максимальной величины Φ_{max} до минимальной Φ_{min} без изменения направления (рис. 6.5). Пульсирующий магнитный поток имеет постоянную Φ_0 и переменную $\Phi_\sim$ составляющие $\Phi = \Phi_0 + \Phi_\sim = \Phi_0 + \Phi_m \cos \omega t$.

Постоянная составляющая магнитного потока $\Phi_0 = (\Phi_{max} + \Phi_{min})/2$ в наведении ЭДС в статорной обмотке не участвует и бесполезно намагничивает магнитопровод статора генератора. Как следствие, магнитопровод статора в индукторном генераторе более массивный, чем в синхронных генераторах с контактными кольцами. Этим объясняется более широкое применение индукторных генераторов на грузовых автомобилях.

Переменная составляющая $\Phi_\sim$ магнитного потока с амплитудой $\Phi_m = (\Phi_{max} - \Phi_{min})/2$ наводит ЭДС в катушках статорной обмотки:

$e_к = -W\, d\Phi/dt = -W\, d\Phi_m \cos \omega t/dt = E_m \sin 2\pi f t$,

где W — число витков в катушке;

E_m — амплитудное значение ЭДС $e_к$.

Как видно из рис. 6.4, б, в индукторном генераторе зубец и впадина ротора образуют пару полюсов, поэтому число пар полюсов ротора равно числу зубцов ротора p = Z. Тогда частота переменного тока в

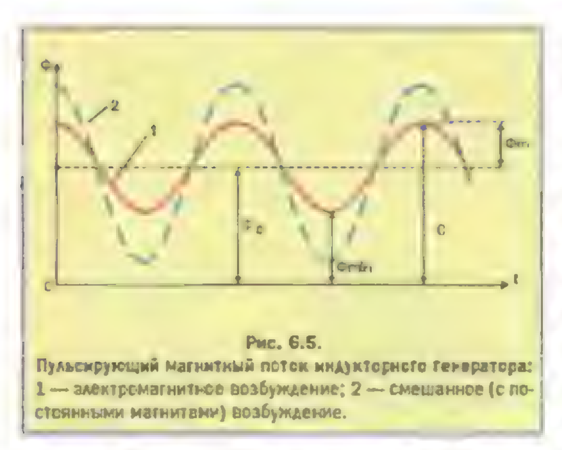


Рис. 6.5.
Пульсирующий магнитный поток индукторного генератора: 1 — электромагнитное возбуждение; 2 — смешанное (с постоянными магнитами) возбуждение.

статорной обмотке, выраженная в Гц, равна $f = Z \times n/60$ (n — число оборотов ротора в об/мин).

Таким образом, при вращении ротора индукторного генератора в витках катушек обмотки статора индуцируется переменная (пульсирующая) ЭДС, по форме близкая к синусоиде, с частотой, синхронной (пропорциональной) частоте вращения ротора.

Индукторные генераторы характеризуются коэффициентом K_Φ использования магнитного потока, который определяется как:

$K_\Phi = \Phi_{ir}/\Phi_{cr} = 0{,}5\,(1 - \Phi_{min}/\Phi_{max})$,

где $\Phi_{cr} = \Phi_{max} \cos \omega t$ для традиционного генератора с контактными кольцами,

$\Phi_{ir} = 0{,}5\,(\Phi_{max} - \Phi_{min}) \cos \omega t$ для индукторного генератора.

В идеальном случае, когда $\Phi_{min} = 0$, коэффициент $K_\Phi = 0{,}5$. В реальных индукторных генераторах $\Phi_{min}/\Phi_{max} \approx 0{,}3...0{,}4$ и $K_\Phi \approx 0{,}3$. Таким образом, при одинаковой мощности индукторные генераторы имеют большие габариты и массу, чем синхронные генераторы с контактными кольцами.

На расширение диапазона изменения магнитного потока работают постоянные магниты, которые установлены во впадинах звезды ротора (полярность их полюсов, обращенных к статору, противоположна полярности зубцов ротора, см. рис. 6.4, б). При этом минимальная величина Φ_{min} магнитного потока в воздушном зазоре может быть значительно понижена (см. рис. 6.5), а отдаваемая генератором мощность увеличена, что приближает индукторный генератор к генератору с клювообразным ротором (в последнем имеет место знакопеременный магнитный поток).

Электрическая схема генератора. В отличие от традиционных автомобильных генераторов, индукторные генераторы могут иметь как трехфазный, так и многофазный статор. Генераторы мощностью более 700 Вт выполняются с пятифазной или семифазной обмоткой статора, причем фазные секции статора соединены в многоугольник.

Электрическая схема генератора 955.3701 приведена на рис. 6.6.

Пять фазных секций статора соединены в пятиугольник с последовательностью включения 1-4-2-5-3-1. Эта последовательность подчиняется определенной логике. Дело в том, что при кольцевом соединении фаз статорной обмотки в ней, помимо пяти фазных напряжений, наводится пять междуфазных: Uac, Uce, Ueb, Ubd, Uda (см. рис. 6.6). А так как пространственный угол сдвига между пятью фазными секциями по периметру статора меньше 120°, то фазные напряжения становятся меньше междуфазных и выпрямитель начинает выпрямлять междуфазные напряжения. При этом энергетика генератора нарушается, т.е. падает мощность и коэффициент полезного действия (КПД). Чтобы этого не происходило, выбирают такой порядок соединения катушек, чтобы электрический угол φ сдвига фаз между пульсирующими напряжениями, которые поочередно подаются на выпрямитель, был бы близким к 120°.

В общем случае для этой цели конец первой фазной секции соединяется с началом той фазной секции, номер которой на число К больше, и так далее по кругу статора.

Число К называется шагом включения фаз и определяется как:

$K = [m/n] + 1$, где m — число фазных секций в статоре, n — число катушек в одной фазе (из дроби m/3 берется только целая часть).

Тогда для пятифазного статора с двумя катушками в фазной секции $K = 3$, $\varphi = 108°$, и последовательность включения катушек получается такой: 1-4-2-5-3-1. Порядок включения трехкатушечной секции для 5-ти фазного статора будет другим: 1-3-5-2-4-1 ($K = 2$; $\varphi = 144°$).

Выпрямление системы пятифазных пульсирующих напряжений, по форме близких к синусоиде:

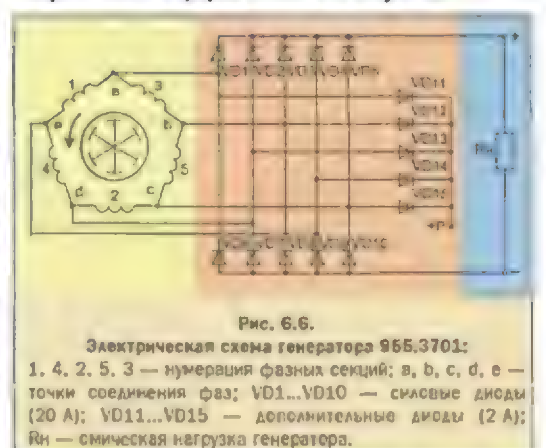


Рис. 6.6.
Электрическая схема генератора 955.3701:
1, 4, 2, 5, 3 — нумерация фазных секций; a, b, c, d, e — точки соединения фаз; VD1...VD10 — силовые диоды (20 А); VD11...VD15 — дополнительные диоды (2 А); Rн — омическая нагрузка генератора.

$$\begin{rcases} U1 = Uea \sin \omega t \\ U3 = Uab \sin (\omega t - 108°) \\ U5 = Ubc \sin (\omega t - 216°) \\ U2 = Ucd \sin (\omega t - 324°) \\ U4 = Ude \sin (\omega t - 432°) \end{rcases}$$

реализуется с помощью пятифазной выпрямительной схемы Ларионова, в которой силовые вентильные диоды работают попарно с чередованием порядка пропускания тока по фазным плечам выпрямителя:

U1 — VD1, VD9; U3 — VD3, VD6; U5 — VD5, VD8; U2 — VD2, VD10; U4 — VD4, VD7.

Таким образом, в любой момент времени на нагрузку генератора $R_н$ работают только два диода: один — прямой, другой — обратной полярности. В любой многофазной системе статора, собранной по схеме многоугольника, фазные токи всегда меньше линейных (выпрямляемых) на величину корня из m, что позволяет выполнять катушки фазных обмоток более тонким проводом. Именно поэтому в индукторных генераторах большой мощности ($Pг \geq 1{,}0$ кВт) число фаз на статоре делают увеличенным (5, 7, 9), и тогда общий ток в нагрузке генератора формируется поочередной отдачей энергии от нескольких линейных токов $I_л$, каждый из которых равен $I_г/m$.

При этом частота пульсаций $f_п$ выпрямленного напряжения будет несколько выше, чем в трехфазном генераторе.

6.3. Техническое обслуживание генераторов

Современный генератор является надежным изделием автомобильного электрооборудования. Его техническое обслуживание в эксплуатации сведено к минимуму.

- Работы по проверке текущего технического состояния и обслуживанию генератора проводятся через 50...80 тыс. км пробега, но не реже одного раза в два года. Прежде всего проверяется надежность крепления генератора к двигателю и натяжение приводного ремня. На рис. 6.7 показаны основные детали стандартного крепления генератора к двигателю. Натяжная рейка 4 крепления генератора имеет продолговатую прорезь под фиксирующий болт 3, что позволяет натягивать приводной ремень генератора до требуемой нормы (8...15 мм). Кронштейн 1 должен быть надежно привернут к двигателю, а болт 5, проходящий через кронштейн 1 и поворотную втулку генератора, после регулировки натяжения ремня крепко затянут. Недостаточно жесткое крепление генератора к двигателю приводит к излому натяжной рейки 4 и других деталей крепления. Слабо натянутый ремень 2 проскальзывает по шкиву 6, что способствует ускоренному износу ремня и шкива, а также снижению частоты вращения ротора генератора под нагрузкой и уменьшению напряжения на его выводах. Аккумуляторная батарея при этом не дозаряжается. Превышение усилия натяжения ремня приводит к перегрузке подшипников, их перегреву и выходу из строя. Правильность натяжения проверяется по прогибу ремня в средней части нажатием на него торцом динамометра (или пальцем) с усилием 3...10 кГс (в зависимости от типа автомобиля). Прогиб А ремня (см. рис. 6.7) должен соответствовать требованиям инструкции по эксплуатации конкретного автомобиля (как правило, величина прогиба лежит в пределах 8...15 мм).

- Периодически целесообразно проверять нормальную работоспособность генераторной установки. Контрольная лампа на щитке приборов не фиксирует неисправность в системе электроснабжения в случае повышения выходного напряжения генератора. Поэтому бортовым вольтметром, а при его отсутствии вольтметром, подключенным к клеммам аккумуляторной батареи, необходимо замерить величину бортового напряжения, установив среднюю частоту вращения коленчатого вала двигателя (2600...3000 $мин^{-1}$) и включив дальний свет фар. У исправно работающей генераторной установки напряжение должно находиться в пределах 13,5...14,8 В. Оно не должно повышаться при увеличении частоты вращения или сни-

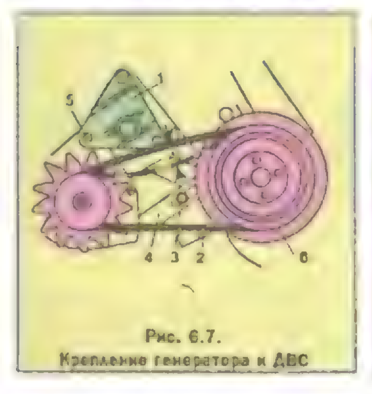


Рис. 6.7.
Крепление генератора к ДВС

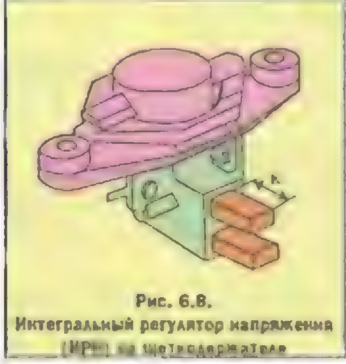


Рис. 6.8.
Интегральный регулятор напряжения (ИРН) на щеткодержателе



Рис. 6.9.
Роторный узел:
1 — подшипник; 2, 3 — контактные кольца роторной обмотки возбуждения

жаться при включении других потребителей, например стеклоочистителя, более чем на ±0,1 В.

• При сезонном техническом обслуживании генераторной установки, содержащей переключатель посезонной регулировки на регуляторе напряжения (см. рис. 6.4 поз. 21 и 24), весной этот переключатель переводится в положение "Лето", осенью — в положение "Зима". Посезонная корректировка регулируемого напряжения обеспечивает оптимальный заряд аккумуляторной батареи, что благоприятно сказывается на ее сроке службы.

• При каждом очередном снятии генератора с автомобиля (через 100...150 тыс. км пробега) для профилактики необходимо провести осмотр щеток (рис. 6.8) и контактных колец (рис. 6.9). Минимально допустимое выступание щеток из щеткодержателя указано в инструкции по эксплуатации автомобиля. Если выступание К щеток (см. рис. 6.8) менее 4...5 мм, их следует заменить. Контактные кольца можно зачистить мелкозернистой наждачной бумагой. Если износ колец ротора более 0,5 мм по диаметру, необходимо разобрать генератор и на роторе в сборе проточить кольца.

• Подшипники ротора (см. рис. 6.9) закрытого типа и не требуют смазки в течение гарантийного срока службы генератора. Но при ремонте генератора подшипники необходимо набить густой смазкой (защитные крышки легко снимаются шилом и легко устанавливаются обратно).

6.4. Ремонт генератора

Автомобильный генератор может иметь как механические, так и электрические повреждения.

• К механическим повреждениям относятся: перетирание шкива генератора приводным ремнем, разрушение подшипников ротора и износ деталей крепления. При значительном износе подшипников может иметь место соударение ротора со статором. Все эти неисправности, как правило, являются следствием нарушения технических условий эксплуатации генератора. Их устранение связано с заменой вышедших деталей из строя.

• Электрические неисправности связаны с нарушением целостности электрических цепей в генераторе или с их коротким замыканием.

Информацию об электрических неисправностях генератора можно получить по осциллограммам выпрямленного напряжения (рис. 6.10), не прибегая к его снятию с автомобиля. Для этого используется мотор-тестер с осциллоскопом, фирменный сканер или обычный осциллограф. Для генератора, снятого с автомобиля, данная проверка осуществляется на контрольно-диагностическом стенде или с помощью цифрового мультиметра.

• К часто встречающимся электрическим неисправностям генератора относятся: перегорание с обрывом или короткое замыкание диодов выпрямительного блока; нарушение контакта в месте пайки выводов обмотки возбуждения к контактным кольцам; обрыв, межвитковое замыкание или замыкание на "массу" обмоток статора и обмотки возбуждения.

• Неисправный генератор после мойки керосином или соляркой и просушки подлежит разборке на составные узлы и проверке их работоспособности. Для выявления электрических неисправностей необходимо иметь мультиметр (тестер).

Фирмы-изготовители поставляют в запчасти такие узлы, как ротор в сборе, статор в сборе, выпрямительный блок, щеткодержатель с регулятором напряжения в сборе. Однако в некоторых случаях приходится самостоятельно восстанавливать отказавшие узлы. Для этого генератор необходимо полностью разобрать на отдельные составные части.

Выпрямительный блок. При стандартном исполнении выпрямительного блока (рис. 6.11) в нем используются серийно выпускаемые полупроводниковые диоды таблеточной конструкции. Выпрессовку поврежденного таблеточного диода следует проводить с помощью ручного пресса, а не молотком, чтобы не повредить посадочное отверстие в радиаторной плате. В крайнем случае диод можно выдавить из гнезда с помощью тисков через оправку. У силовых диодов отечественного производства, которые поставляются в запчасти, диаметр корпуса увеличен на 0,5 мм по сравнению со стандартным, поэтому отверстие под запрессовку необходимо несколько раз-



Рис. 6.10.
Осциллограммы выпрямленного напряжения генератора: $U_В$ — напряжение на выходе силового выпрямителя; $U_Д$ — напряжение на выходе дополнительного выпрямителя.

вернуть (до диаметра 13,12 мм). Следует обратить внимание на полярность нового диода, которая должна соответствовать полярности заменяемого. Полярность диода обозначается на его корпусе либо краской, либо знаком ("+" — красный цвет; "—" — черный цвет).

Усилие при запрессовке диода должно прикладываться вертикально, возрастать плавно и не превышать 50 кГс. При соблюдении осторожности запрессовку можно выполнить через оправку и с помощью обычных тисков. После запрессовки диод припаивают к соединительной шине. Продолжительность пайки не должна превышать 15 сек паяльником мощностью 60...100 Вт.

Фазные обмотки статора. Если устранить неисправность в обмотке статора (рис. 6.12) без перемотки не представляется возможным, то проводится замена статора или перемотка обмотки. Прежде чем удалять из пазов статора поврежденную обмотку, необходимо определить ее тип ("звезда" или "треугольник"), схему соединения секций, диаметр провода, число витков в катушках и их распределение по слоям. Для того чтобы легко снять обмотку, статор помещают в электропечь, где при температуре 500...600°С в течение 5 ч происходит тепловое разрушение изоляции обмотки. После охлаждения обмотка без труда извлекается из пазов статора. Очистив статор от следов старой изоляции, в его пазы укладывают пленкоэлектрокартон ПЭК толщиной 0,27...0,32 мм или полиэтилентерефталатную пленку ПЭТФ толщиной 0,2 мм. В крайнем случае можно применить тонкую стеклоткань. Новая обмотка может быть намотана проводом ПЭТ-200, ПЭТД-180, ПЭВ-2, ПЭСВ-3 или ПЭТВМ. Витки катушек обмотки укладываются плотно друг к другу, их число и распределение в ряду должно соответствовать удаленной обмотке. После окончания намотки в пазы забивают клинья и проводят пропитку обмотки любым жидким электротехническим лаком. Применяются пропиточные лаки МЛ-92 или ГФ-95 с добавлением 15% смолы К-421-02, а также компаунды КП50, ЭД-20. Режим сушки указывается на этикетке тары используемого

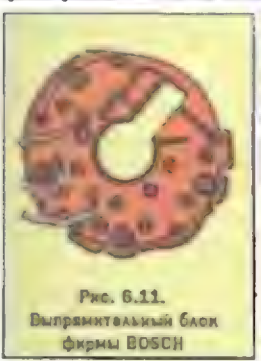


Рис. 6.11. Выпрямительный блок фирмы BOSCH



Рис. 6.12. Статорный магнитопровод с фазными обмотками

электролака. Применять случайные лаки (например, мебельный нитролак) не следует.

Обмотка возбуждения. Проверку целостности обмотки возбуждения выполняют с помощью тестера без разборки роторного узла, внешний вид которого показан на рис. 6.9. Чаще всего обрыв обмотки возбуждения связан с некачественной пайкой ее выводов к контактным кольцам. При проверке необходимо с помощью иглы пошевелить выводы обмотки в местах пайки. Если электрический контакт то появляется, то исчезает — выводы обмотки следует пропаять.

Если соединения выводов с контактными кольцами надежны, а проверка тестером показывает обрыв обмотки, то необходимо определить место обрыва.

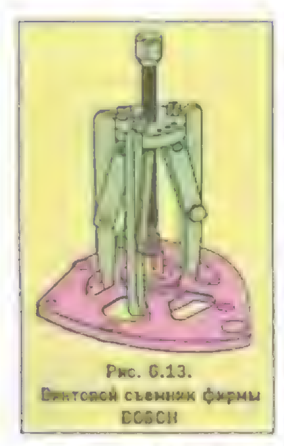
При обрыве обмотки возбуждения в верхних витках катушки ее иногда можно восстановить без разборки ротора. При наличии внутреннего обрыва, вызванного проворотом каркаса обмотки возбуждения, при коротком замыкании обмотки на массу генератора (проверяется тестером между корпусом и кольцами), а также в случае почернения и осыпания изоляции с проводов обмотки, требуется ее перемотка. Для перемотки разбирают ротор с помощью съемника или пресса, предварительно отпаяв выводы обмотки от контактных колец, затем удаляют с каркаса дефектную обмотку и наматывают новую. Рекомендуются обмоточные провода: ПЭТД-180, ПЭТ-200, ПЭТ-155, ПЭТВ-1, ПЭТВ-2. При намотке каркас должен быть надет на втулку. Число витков наматываемой обмотки и диаметр провода должны соответствовать прежним данным. После окончания намотки и сборки ротор пропитывают электротехническим лаком и просушивают так же, как и обмотку статора.

Для некоторых конструкций современных генераторов напрессовка полюсных половин на вал выполнена таким образом, что их снятие с вала становится невозможным. В этом случае при выходе из строя обмотки возбуждения заменяют ротор в сборе.

Интегральный регулятор напряжения. Современные автомобильные генераторы переменного тока содержат в своем конструктивном составе интегральный регулятор напряжения (ИРН). Такой регулятор имеет малые габариты, не перегревается, достаточно надежен в работе и, как правило, монтируется совместно с щеткодержателем КЩМ в едином блоке (см. рис. 6.8).

Электрическая схема ИРН в процессе эксплуатации крайне редко выходит из строя. Однако, так как она составляет единую деталь со щеткодержателем и со щетками, а щетки КЩМ требуют замены в среднем через 200...250 тыс. км пробега, то весь узел вместе с пригодной ИРН приходится утилизировать из-за выхода щеток и щеткодержателя из строя.

Однако следует заметить, что в ряде случаев истертые щетки КЩМ можно заменить на новые, если в уз-


Рис. 6.13. Винтовой съемник фирмы BOSCH

ле предусмотрен доступ к местам пайки (или сварки) медных жгутиков от щеток. В таком случае щетки следует извлечь из гнезд, зачистить места пайки (или сварки) от остатков старых жгутиков и запаять с применением теплоотвода новые щетки. Сама электронная схема ИРН ремонту не подлежит. Но в некоторых конструкциях генераторов ИРН монтируется на щеткодержателе (см. рис. 6.8) или непосредственно на корпусе генератора (см. рис. 6.4, б) как самостоятельная конструктивная деталь. В таком случае ее замена не вызывает проблем.

Подшипники ротора. Уже отмечалось, что подшипники ротора — закрытого типа. Они набиты густой смазкой при изготовлении и специального ухода не требуют. Однако при случайном попадании в подшипник жидкого растворителя (например, бензина) консистенция смазки нарушается, тогда подшипник быстро выходит из строя. Учитывая сказанное, опускать снятые с генератора подшипники в любую моющую жидкость не следует.

Другой причиной разрушения подшипников может стать перетяжка приводного ремня генератора.

Достоверным признаком выхода подшипника из строя является характерный шум (свист) в генераторе, который исчезает при снятии приводного ремня. Но в двигателях с наружной водяной помпой аналогичный шум могут издавать и неисправные подшипники помпы. В таком случае шум можно локализовать прослушиванием с помощью медицинского стетоскопа или с помощью длинной пластмассовой трубки.

Для замены роторных подшипников, пришедших в негодность, генератор требуется снять с двигателя и полностью разобрать. Передний подшипник с вала генератора следует снимать вместе с корпусной крышкой винтовым съемником (рис. 6.13). При сбивании подшипников можно значительно повредить торцы вала генератора. Заменять подшипники можно только на абсолютно аналогичные. Иногда подшипник с одинаковым номером отличается наличием или отсутствием защитной крышки для смазки. Подшипники открытого типа в автомобильных генераторах устанавливать не следует.

В заключение отметим, что генератор импортного автомобиля, не подлежащий ремонту, можно заменить на отечественный, если последний подходит по электрическим параметрам.

Детали крепления генератора к двигателю в таком случае приходится изготавливать самостоятельно с их подгонкой по месту, что для квалифицированного ремонтника не представляет трудностей.

6.5. Маркировка генераторов

- Обозначение (маркировка) отечественных автомобильных генераторов производится по схеме xxxx.3701 или xxxx.3771. Согласно ГОСТу 3701 и 3771 — это типовые подгруппы "Генератор". На месте знаков "x" в обозначении ставятся цифры от 0 до 9. Первые две цифры, начиная с 11, обозначают порядковый номер модели, третья цифра — модификацию изделия, четвертая цифра — исполнение. Предусмотрены следующие виды исполнения генераторов: 1 — для холодного климата, 2 — общеклиматическое исполнение, 3 — для умеренного и тропического климата, 6 — экспортное исполнение, 7 — экспортное исполнение для тропического климата, 8 — экспортное исполнение для стран с холодным климатом, 9 — общеклиматическое экспортное исполнение. Цифры до точки, кроме первых двух, могут опускаться. Если изделие имеет несколько вариантов исполнения одной и той же модификации, то такой вариант также обозначается цифрами, проставленными справа от основного обозначения через тире. Например, вариант генератора 583.3701 со встроенным регулятором напряжения Я112В1, поставляемый в запчасти для автомобилей ВАЗ-2108, -2109 имеет условное обозначение 583.3701-20, что следует читать так: 58-я модель третьей модификации генератора 3701 в 20-м варианте конструктивного исполнения (т.е. с Я112В1).

Кроме того, отечественной промышленностью по-прежнему выпускается ряд изделий с буквенно-цифровым обозначением, например Г221-А, где Г — генератор, 221 — номер модели, А — модификация.

- Иной подход к маркировке генераторов принят у иностранных фирм-изготовителей. Как правило, в обозначении отражен базовый размер генератора (наружный диаметр статора) и его основные электрические параметры.

Рассмотрим условные обозначения генераторов фирмы BOSCH (Германия), которые устанавливаются на легковых автомобилях.

Генераторы традиционной конструкции (см. рис. 6.2) имеют фирменную маркировку, которая содержит буквенное обозначение предельных размеров для наружного диаметра статора: G-100...109 мм, K-120...129 мм, N-130...139 мм. Цифра после буквы обозначает тип системы возбуждения: 1 — клювообразные полюса, 2 — явно выраженные полюса, 3 — неподвижная обмотка возбуждения (бесконтактное исполнение). Далее указываются номинальное напряжение и два значения тока, разделенных косой чертой (при частотах вращения

Таблица 6.1.
Основные параметры отечественных электрогенераторов для современных легковых автомобилей

№ п/п	Тип генератора	Применяемость на отечественных автомобилях	Частота вращения без нагрузки, менее, 1/мин	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А	Дополнительный выпрямитель	Интегральный регулятор напряжения
1	Г221А	ВАЗ-2101, -2102, -21011, -2103, -2106	[illegible]	—	42	—	—
2	Г222	ВАЗ-2105, ВАЗ-2104, ВАЗ-1111, ЗАЗ-1102	1250	14,3±0,5	50	—	есть
3	37.3701	ВАЗ-2108, -2109	[illegible]	14,1±0,5	55	есть	есть
4	16.3701	ГАЗ-2410, -3102, -31029	1100	—	65	—	—
5	58.3701	"Москвич-2141"	1400	13,5±0,5	50	—	есть
6	94.3701-01	ВАЗ-2108, -2109	1150	14,2±0,5	60	есть	есть
7	9402.3701	ВАЗ-2110	1050	14,2±0,5	65	есть	есть

ротора 1500 и 6000 $мин^{-1}$). Частота вращения 1500 $мин^{-1}$ примерно соответствует частоте вращения коленчатого вала автомобильного двигателя в режиме холостого хода, а частота 6000 $мин^{-1}$ — режиму максимального тока отдачи генератора.

Маркировка вентильного генератора фирмы BOSCH с клювообразными полюсами, с наружным диаметром статора 125 мм, с номинальным напряжением 14 В и с токами отдачи 23 и 55 А при частотах вращения ротора 1500 и 6000 $мин^{-1}$ (соответственно) имеет следующий вид: K114V23/55A.

- Ранее фирма BOSCH указывала после номинального напряжения максимальный ток отдачи генератора и число, в 100 раз меньшее частоты вращения ротора, при которой генератор отдает ток, равный 2/3 максимального. Например, маркировку K114V55A20 следует читать так: 55 А — максимальный ток I_{max} генератора при n = 6000 $мин^{-1}$, 20 — число, соответствующее частоте вращения ротора 2000 $мин^{-1}$, при которой генератор отдает ток, равный 0,67 $I_{max} \cong 55 \times 0{,}67 = 37$ A.
- Генераторы компактной конструкции обозначаются по несколько иной схеме, когда обозначение типа системы возбуждения (цифра после первой буквы) заменена буквой C — Compact-Generator (компактное исполнение).

Буквенное обозначение наружного диаметра статора также изменено G-116 мм, K-125 мм, N-138 или 142 мм.

В отличие от генераторов традиционной конструкции, компактные генераторы рассчитаны на более высокое передаточное отношение привода, поэтому в режиме холостого хода двигателя внутреннего сгорания частота вращения ротора генератора выше и составляет 1800 вместо 1500 $мин^{-1}$.

Например, маркировка KC14V45/80A обозначает: вентильный генератор компактной конструкции с клювообразным ротором, наружным диаметром статора 125 мм, номинальным напряжением 14 В, максимальным током отдачи 80 А и током отдачи 45 А при n = 1800 $мин^{-1}$.

Кроме того, фирма BOSCH после обозначения типа генератора указывает десятизначное число, так называемый каталожный номер, который отображает специальную информацию об особенностях той или иной модификации (присоединительные размеры, расположение выводов, способы защиты от попадания воды, пыли, грязи; уровень регулируемого напряжения, наличие силовых стабилитронов и др.). Такая информация является достоянием фирменных каталогов.

Глава седьмая

РЕГУЛЯТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Современный автомобильный двигатель внутреннего сгорания (ДВС) работает в широком интервале изменения оборотов 600...7000 мин$^{-1}$). Соответственно изменяется и частота вращения ротора автомобильного генератора, а значит, и его выходное напряжение. Зависимость выходного напряжения генератора от оборотов ДВС недопустима, так как напряжение в бортсети автомобиля должно быть постоянным не только при изменении оборотов двигателя, но и при изменении тока нагрузки. Функцию автоматического регулирования напряжения в автомобильном генераторе выполняет специальное устройство — регулятор напряжения. Данная глава посвящена рассмотрению регуляторов напряжения современных автомобильных генераторов переменного тока.

7.1. Регулирование напряжения в генераторах с электромагнитным возбуждением

Способы регулирования. Если главное магнитное поле генератора наводится электромагнитным возбуждением, то электродвижущая сила $E_г$ генератора может быть функцией двух переменных: частоты n вращения ротора и тока $I_в$ в обмотке возбуждения — $E_г = f(n, I_в)$.

Именно такой тип возбуждения имеет место во всех современных автомобильных генераторах переменного тока, которые работают с параллельной обмоткой возбуждения [1].

При работе генератора без нагрузки его напряжение $U_г$ равно его электродвижущей силе ЭДС $E_г$:

$$U_г = E_г = C\,\Phi\,n. \qquad (7.1)$$

Напряжение $U_г$ генератора под током $I_н$ нагрузки меньше ЭДС $E_г$ на величину падения напряжения на внутреннем сопротивлении $r_г$ генератора, т.е. можно записать, что

$$E_г = U_г + I_н\,r_г = U_г\,(1 + \beta). \qquad (7.2)$$

Величина $\beta = I_н\,r_г/U_г$ называется коэффициентом нагрузки.

Из сравнения формул 7.1 и 7.2 следует, что напряжение генератора

$$U_г = n\,C\,\Phi/\,(1 + \beta), \qquad (7.3)$$

где C — постоянный конструктивный коэффициент.

Уравнение (7.3) показывает, что как при разных частотах (n) вращения ротора генератора (n = Var), так и при изменяющейся нагрузке (β = Var), неизменность напряжения $U_г$ генератора может быть получена только соответствующим изменением магнитного потока Φ.

Магнитный поток Φ в генераторе с электромагнитным возбуждением формируется магнитодвижущей силой $F_в = W\,I_в$ обмотки $W_в$ возбуждения (W — число витков обмотки $W_в$) и может легко управляться с помощью тока $I_в$ в обмотке возбуждения, т.е. $\Phi = f(I_в)$. Тогда $U_г = f\,[n, \beta, f(I_в)]$, что позволяет удерживать напряжение $U_г$ генератора в заданных пределах регулирования при любых изменениях его оборотов и нагрузки соответствующим выбором функции $f(I_в)$ регулирования.

Автоматическая функция $f(I_в)$ регулирования в регуляторах напряжения сводится к уменьшению максимального значения тока $I_в$ в обмотке возбуждения, которое имеет место при $I_в = U_г/R_w$ (R_w — активное сопротивление обмотки возбуждения) и может уменьшаться несколькими способами (рис. 6.1): подключением к обмотке $W_в$ параллельно (а) или последовательно (б) дополнительного сопротивления $R_д$; закорачиванием обмотки возбуждения (в); разрывом токовой цепи возбуждения (г). Ток через обмотку возбуждения можно и увеличивать, закорачивая последовательное дополнительное сопротивление (б).

Все эти способы изменяют ток возбуждения скачкообразно, т.е. имеет место прерывистое (дискретное) регулирование тока. В принципе возможно и аналоговое регулирование, при котором величина последовательного дополнительного сопротивления в цепи возбуждения изменяется плавно (д). Но во всех случаях напряжение $U_г$ генератора удерживается в заданных пределах регулирования соответствующей автоматической корректировкой величины тока возбуждения.

Дискретно-импульсное регулирование. В современных автомобильных генераторах магнитодвижущую силу $F_в$ обмотки возбуждения, а значит, и маг-

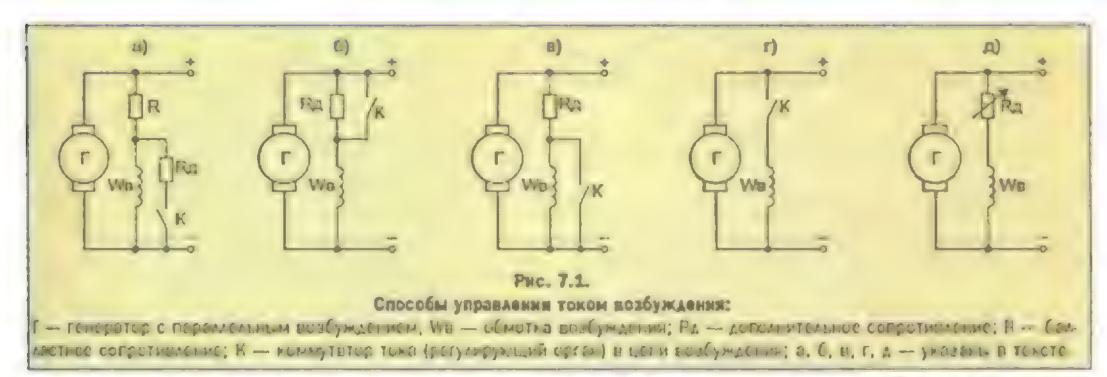


Рис. 7.1.
Способы управления током возбуждения:
Г — генератор с переменным возбуждением, Wв — обмотка возбуждения; Rд — дополнительное сопротивление; R — балластное сопротивление; К — коммутатор тока (регулирующий орган) в цепи возбуждения; а, б, в, г, д — указаны в тексте

нитный поток Ф изменяют периодическим прерыванием или скачкообразным уменьшением тока $I_в$ возбуждения с управляемой частотой прерывания, т.е. применяют дискретно-импульсное регулирование рабочего напряжения $U_г$ генератора (ранее применялось аналоговое регулирование, например, в угольных регуляторах напряжения [2]).

Суть дискретно-импульсного регулирования станет понятной из рассмотрения принципа действия генераторной установки, состоящей из простейшего контактно-вибрационного регулятора напряжения, и генератора переменного тока (ГПТ).

Функциональная схема генераторной установки, работающей совместно с бортовой аккумуляторной батареей (АКБ), показана на рис. 7.2, а, а электрическая схема — на рис. 7.2, б.

В состав генератора входят: фазные обмотки Wф на статоре СТ, вращающийся ротор R, силовой выпрямитель ВП на полупроводниковых диодах VD, обмотка возбуждения $W_в$ (с активным сопротивлением R_w). Механическую энергию вращения $A_м = f(n)$ ротор генератора получает от ДВС. Вибрационный регулятор напряжения РН выполнен на электромагнитном реле и включает в себя коммутирующий элемент КЭ и измерительный элемент ИЭ.

Коммутирующий элемент КЭ — это вибрационный электрический контакт К, замыкающий или размыкающий дополнительное сопротивление $R_д$, которое вклю-

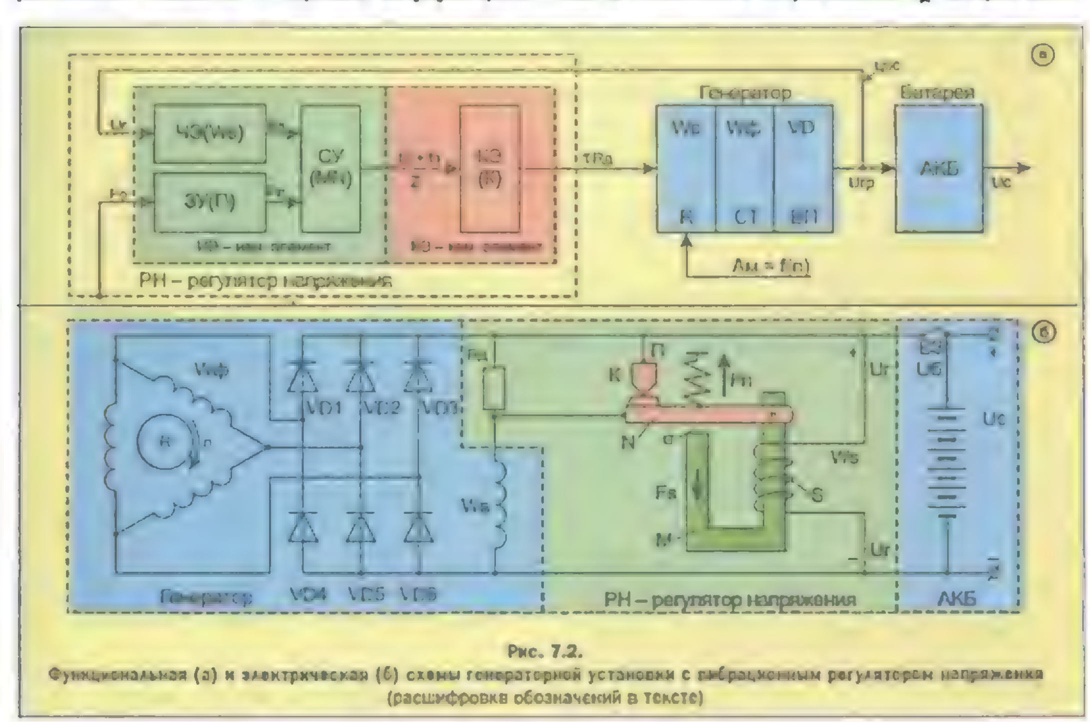


Рис. 7.2.
Функциональная (а) и электрическая (б) схемы генераторной установки с вибрационным регулятором напряжения (расшифровка обозначений в тексте)

чено с обмоткой возбуждения $W_в$ генератора последовательно. При срабатывании коммутирующего элемента (размыкание контакта К) на его выходе формируется сигнал τ $R_д$ (рис. 7.2, а).

Измерительный элемент (ИЭ, на рис. 7.2, а) — это та часть электромагнитного реле, которая реализует три функции:

1) функцию сравнения (СУ) механической упругой силы $F_п$ возвратной пружины П с магнитодвижущей силой $F_s = W_s I_s$ релейной обмотки S (W_s —число витков обмотки S, I_s — ток в релейной обмотке), при этом результатом сравнения является сформированный в зазоре σ период Т ($T = t_р + t_з$) колебаний якоря N;

2) функцию чувствительного элемента (ЧЭ) в цепи обратной связи (ЦОС) регулятора напряжения. чувствительным элементом в вибрационных регуляторах является обмотка S электромагнитного реле, подключенная непосредственно к напряжению $U_г$ генератора и к аккумуляторной батарее (к последней через ключ зажигания ВЗ);

3) функцию задающего устройства (ЗУ), которое реализуется с помощью возвратной пружины П с силой упругости $F_п$ и опорной силой $F_о$.

Работа регулятора напряжения с электромагнитным реле наглядно может быть пояснена с помощью скоростных характеристик генератора (рис. 7.3 и 7.4).

Пока напряжение $U_г$ генератора ниже напряжения $U_б$ аккумуляторной батареи ($U_г < U_б$), электромагнитное реле не срабатывает и возвратная пружина П удерживает контакт К в замкнутом состоянии. При этом ток $I_{вб}$ в обмотке $W_в$ возбуждения не изменяется, так как определяется постоянным напряжением $U_б$ батареи (ключ зажигания ВЗ — включен) и сопротивлением R_w обмотки возбуждения: $I_{вб} = U_б/R_w$. Регулирования напряжения не происходит (на рис. 7.3 участок $0 \dots n_{min}$).

При увеличении оборотов ДВС напряжение генератора возрастает и при достижении некоторого значения $U_{max} > U_б$ магнитодвижущая сила F_s релейной обмотки становится больше силы $F_п$ возвратной пружины П, т.е. $F_s = I_s W_s > F_п$. Электромагнитное реле срабатывает, и контакт К размыкается, при этом в цепь обмотки возбуждения включается дополнительное сопротивление $R_д$.

Еще до размыкания контакта К ток $I_в$ в обмотке возбуждения достигает своего максимального значения $I_{в\,max} = U_г R_w > I_{вб}$, от которого сразу после размыкания контакта К начинает падать, стремясь к своему минимальному значению $I_{в\,min} = U_г/(R_w + R_д)$. Вслед за падением тока возбуждения напряжение генератора начинает соответственно уменьшаться $U_г = f(I_в)$, что приводит к падению тока $I_s = U_г/R_s$ в релейной обмотке S, и контакт К вновь размыкается усилием возвратной пружины П ($F_п > F_s$). К моменту размыкания контакта К напряжение генератора $U_г$ становится равным своему минимальному значению

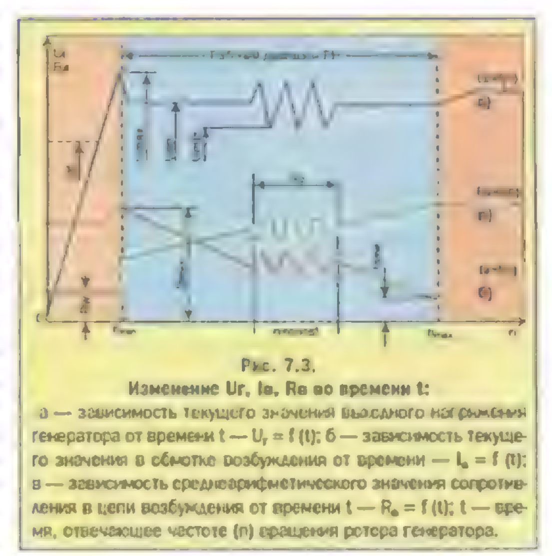


Рис. 7.3.
Изменение Ur, Iв, Rв во времени t:
а — зависимость текущего значения выходного напряжения генератора от времени t — $U_г = f(t)$; б — зависимость текущего значения в обмотке возбуждения от времени — $I_в = f(t)$; в — зависимость среднеарифметического значения сопротивления в цепи возбуждения от времени t — $R_в = f(t)$; t — время, отвечающее частоте (n) вращения ротора генератора.

U_{min}, но остается несколько больше напряжения аккумуляторной батареи ($U_{г\,min} > U_б$).

Начиная с момента размыкания контакта К ($n = n_{min}$, рис. 7.3), даже при неизменной частоте n вращения ротора генератора, якорь N электромагнитного реле входит в режим механических автоколебаний, и контакт К, вибрируя, начинает периодически, с определенной частотой коммутации $f_к = 1/T = 1/(t_р + t_з)$ то замыкать, то размыкать дополнительное сопротивление $R_д$ в цепи возбуждения генерато-

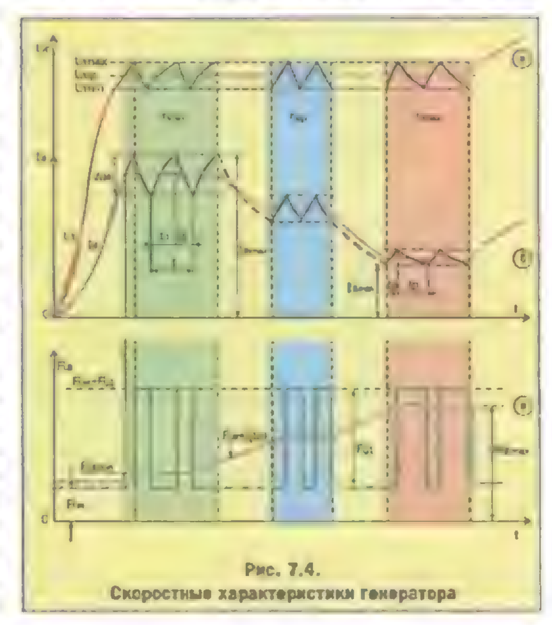


Рис. 7.4.
Скоростные характеристики генератора

ра (зеленая линия на участке $n = n_{ср} = const$, рис. 7.3). При этом сопротивление $R_в$ в токовой цепи возбуждения изменяется скачкообразно от значения R_w до величины $R_w + R_д$.

Так как при работе регулятора напряжения контакт К вибрирует с достаточно высокой частотой $f_к$ коммутации, то $R_в = R_w + \tau_р R_д$, где величина $\tau_р$ — это относительное время разомкнутого состояния контакта К, которое определяется по формуле:

$\tau_р = t_р/(t_з + t_р)$, где $1/(t_з + t_р) = f_к$ — частота коммутации. Теперь среднее, установившееся для данной частоты $f_к$ коммутации значение тока возбуждения может быть найдено из выражения:

$I_{в\,ср} = U_{г\,ср}/R_в = U_{г\,ср}/(R_w + \tau_р R_д) = U_{г\,ср}/(R_w + R_д t_р/f_к)$,

где $R_в$ — среднеарифметическое (эффективное) значение пульсирующего сопротивления в цепи возбуждения, которое при увеличении относительного времени $\tau_р$ разомкнутого состояния контакта К также увеличивается (красная линия на рис. 7.4, в).

Рассмотрим более подробно, что происходит при коммутациях с током возбуждения. Когда контакт К длительно замкнут, по обмотке $W_в$ возбуждения протекает максимальный ток возбуждения $I_в = U_г/R_w$.

Однако обмотка возбуждения $W_в$ генератора представляет собой электропроводную катушку с большой индуктивностью и с массивным ферромагнитным сердечником. Как следствие, ток через обмотку возбуждения после замыкания контакта К нарастает с замедлением. Это происходит потому, что скорости нарастания тока препятствует гистерезис в сердечнике и противодействующая нарастающему току — ЭДС самоиндукции катушки.

При размыкании контакта К ток возбуждения стремится к минимальной величине, значение которой при длительно разомкнутом контакте определяется как $I_в = U_г/(R_w + R_д)$. Теперь ЭДС самоиндукции совпадает по направлению с убывающим током и несколько продлевает процесс его убывания.

Из сказанного следует, что ток в обмотке возбуждения не может изменяться мгновенно (скачкообразно, как дополнительное сопротивление $R_д$) ни при замыкании, ни при размыкании цепи возбуждения. Более того, при высокой частоте вибрации контакта К ток возбуждения может не достигать своей максимальной или минимальной величины, приближаясь к своему среднему значению (красная линия на рис. 7.4, б), так как величина $t_р = \tau_р/f_к$ увеличивается с увеличением частоты $f_к$ коммутации, а абсолютное время $t_з$ замкнутого состояния контакта К уменьшается.

Из совместного рассмотрения диаграмм, показанных на рис. 7.3 и рис. 7.4, вытекает, что среднее значение тока возбуждения (красные линии б на рис. 7.3 и рис. 7.4) при повышении оборотов n уменьшается, так как при этом увеличивается среднеарифметическая величина (зеленая линия *в* на рис. 7.3, в и красная линия на рис. 7.4, в) суммарного, пульсирующего во времени сопротивления $R_в$ цепи возбуждения (закон Ома). При этом среднее значение напряжения генератора ($U_{ср}$ на рис. 7.3 и рис. 7.4) остается неизменным, а выходное напряжение $U_г$ генератора пульсирует в интервале от U_{max} до U_{min}.

Если же увеличивается нагрузка генератора, то регулируемое напряжение $U_г$ первоначально падает, при этом регулятор напряжения увеличивает ток в обмотке возбуждения настолько, что напряжение генератора обратно повышается до первоначального значения.

Таким образом, при изменении тока нагрузки генератора ($\beta = Var$) процессы регулирования в регуляторе напряжения протекают так же, как и при изменении частоты вращения ротора.

Пульсации регулируемого напряжения. При постоянной частоте n вращения ротора генератора и при постоянной его нагрузке рабочие пульсации тока возбуждения ($\Delta I_в$ на рис. 7.4, б) наводят соответствующие (по времени) пульсации регулируемого напряжения генератора.

Амплитуда пульсаций $\Delta U_г = 0,5\,(U_{max} - U_{min})$* регулятора напряжения $U_г$ от амплитуды токовых пульсаций $\Delta I_в$ в обмотке возбуждения не зависит, так как определяется заданным с помощью измерительного элемента регулятора интервалом регулирования. Поэтому пульсации напряжения $U_г$ на всех частотах вращения ротора генератора практически одинаковы. Однако скорость нарастания и спада напряжения $U_г$ в интервале регулирования определяется скоростью нарастания и спада тока возбуждения и, в конечном счете, частотой вращения (n) ротора генератора.

Когда нагрузка генератора и частота вращения его ротора не изменяются, частота вибрации контакта К также неизменна ($f_к = 1/(t_з + t_р) = const$). При этом напряжение $U_г$ генератора пульсирует с амплитудой $\Delta U_р = 0,5\,(U_{max} - U_{min})$ около своего среднего значения $U_{ср}$ (красная линия на рис. 7.4, а).

При изменении частоты вращения ротора, например, в сторону увеличения или при уменьшении нагрузки генератора, время $t_з$ замкнутого состояния становится меньше времени $t_р$ разомкнутого состояния ($t_з < t_р$), а значит, среднее значение тока $I_в$ возбуждения $I_{в\,ср} = U_{г\,ср}/(R_w + R_д t_р/f_к)$ падает. При этом рабочие пульсации $\Delta I_в$ тока возбуждения также падают, а напряжение $U_г$ генератора остается в заданных пределах регулирования с прежней амплитудой $\Delta U_г$ пульсаций (см. 7.4 при $n = n_{max} = const$).

При уменьшении частоты ротора генератора (n↓) или при увеличении нагрузки (β↑) среднее значение

** Следует заметить, что пульсации $2\Delta U_г$ являются неизбежным и вредным побочным проявлением работы регулятора напряжения. В современных генераторах они замыкаются на массу шунтирующим конденсатором $C_ш$, который устанавливается между плюсовой клеммой генератора и корпусом (обычно $C_ш$ = 2,2 мкФ).*

тока возбуждения и его пульсации будут расти. Но напряжение генератора будет по-прежнему колебаться с амплитудой $\Delta U_г$ вокруг неизменной величины $U_{г\ ср}$.

Постоянство среднего значения напряжения $U_г$ генератора объясняется тем, что оно определяется не режимом работы генератора, а конструктивными параметрами электромагнитного реле: числом витков W_s релейной обмотки S, ее сопротивлением R_s, величиной воздушного зазора σ между якорем N и ярмом M, а также силой $F_п$ возвратной пружины П, т.е. величина $U_{ср}$ есть функция четырех переменных: $U_{ср} = f(W_s, R_s, \sigma, F_п)$.

Электромагнитное реле с помощью подгиба опоры возвратной пружины П настраивается на величину $U_{ср}$ таким образом, чтобы на нижней частоте вращения ротора ($n = n_{min}$ — рис. 7.3 и рис. 7.4) контакт К начинал бы размыкаться, а ток возбуждения успевал бы достигать своего максимального значения $I_в = U_г/R_w$. Тогда пульсации $\Delta I_в$ и время $t_з$ замкнутого состояния — максимальны. Этим устанавливается нижний предел рабочего диапазона регулятора ($n = n_{min}$). На средних частотах вращения ротора время $t_з$ примерно равно времени $t_р$, и пульсации тока возбуждения становятся почти в два раза меньше. На частоте вращения n, близкой к максимальной ($n = n_{max}$ — рис. 7.3 и рис. 7.4), среднее значение тока $I_в$ и его пульсации $\Delta I_в$ — минимальны. При $n > n_{max}$ происходит срыв автоколебаний регулятора и напряжение $U_г$ генератора начинает возрастать пропорционально оборотам ротора. Верхний предел рабочего диапазона регулятора задается величиной дополнительного сопротивления $R_д$ (при определенной величине сопротивления R_w).

Выводы. Вышесказанное о дискретно-импульсном регулировании можно обобщить следующим образом: после пуска ДВС, с повышением его оборотов, наступает такой момент, когда напряжение генератора достигает верхнего предела регулирования ($U_г = U_{max}$). В этот момент ($n = n_{min}$) в регуляторе напряжения размыкается коммутирующий элемент КЭ и сопротивление в цепи возбуждения скачкообразно увеличивается. Это приводит к уменьшению тока возбуждения и, как следствие, к соответствующему падению напряжения $U_г$ генератора. Падение напряжения $U_г$ ниже минимального предела регулирования ($U_г = U_{min}$) приводит к обратному замыканию коммутирующего элемента КЭ, и ток возбуждения начинает снова возрастать. С этого момента регулятор напряжения входит в режим автоколебаний и процесс коммутации тока в обмотке возбуждения генератора периодически повторяется, даже при постоянной частоте вращения ротора генератора ($n = const$).

При дальнейшем увеличении частоты вращения n, пропорционально ей начинает уменьшаться время $t_з$ замкнутого состояния коммутирующего элемента КЭ, что приводит к плавному уменьшению (в соответствии с ростом частоты n) среднего значения тока возбуждения (красные линии 6 на рис. 7.3 и рис. 7.4) и амплитуды $\Delta I_в$ его пульсации. Благодаря этому напряжение $U_г$ генератора начинает тоже пульсировать, но с постоянной амплитудой $\Delta U_г$ около своего среднего значения ($U_г = U_{ср}$) с достаточно высокой частотой колебаний.

Те же процессы коммутации тока $I_в$ и пульсации напряжения $U_г$ будут иметь место и при изменении тока нагрузки генератора (см. формулу 7.3).

В обоих случаях среднее значение напряжения $U_г$ генератора остается неизменным во всем диапазоне работы регулятора напряжения по частоте n ($U_{г\ ср} = const$, от n_{min} до n_{max}) и при изменении тока нагрузки генератора от $I_г = 0$ до $I_г = max$.

В сказанном заключается основной принцип регулирования напряжения генератора с помощью прерывистого изменения тока в его обмотке возбуждения.

7.2. Электронные регуляторы напряжения

Рассмотренный выше вибрационный регулятор напряжения (ВРН) с электромагнитным реле (ЭМ-реле) имеет ряд существенных недостатков:

1) как механический вибратор, ВРН ненадежен;

2) контакт К в ЭМ-реле подгорает, что делает регулятор недолговечным;

3) параметры ВРН зависят от температуры (среднее значение $U_{ср}$ рабочего напряжения $U_г$ генератора плавает);

4) ВРН не может работать в режиме полного обесточивания обмотки возбуждения, что делает его низкочувствительным к изменению выходного напряжения генератора (высокие пульсации напряжения $U_г$) и ограничивает верхний предел работы регулятора напряжения;

5) электромеханический контакт К электромагнитного реле ограничивает величину максимального тока возбуждения до значений 2...3 А, что не позволяет применять вибрационные регуляторы на современных мощных генераторах переменного тока.

• С появлением полупроводниковых приборов контакт К ЭМ-реле стало возможным заменить эмиттерно-коллекторным переходом мощного транзистора с его управлением по базе тем же контактом К ЭМ-реле.

Так появились первые контактно-транзисторные регуляторы напряжения [2]. В дальнейшем функции электромагнитного реле (СУ, КЭ, УЭ) были полностью реализованы с помощью низкоуровневых (малоточных) электронных схем на полупроводниковых приборах. Это позволило изготавливать чисто электронные (полупроводниковые) регуляторы напряжения [3].

Особенностью работы электронного регулятора (ЭРН) является то, что в нем отсутствует дополнитель-

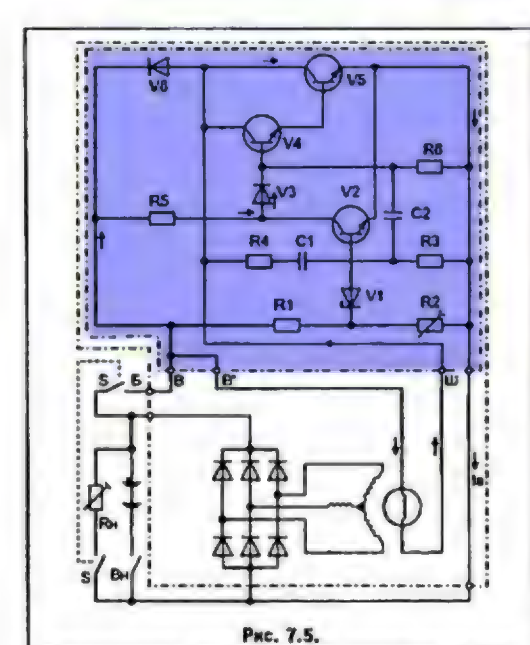


Рис. 7.5.
Принципиальная схема регулятора напряжения Я-112А: R1...R6 — толстопленочные резисторы; C1, C2 — навесные миниатюрные конденсаторы; V1...V6 — бескорпусные полупроводниковые диоды и транзисторы.

ный резистор $R_д$, т.е. в цепи возбуждения реализуется практически полное выключение тока в обмотке возбуждения генератора, так как коммутирующий элемент (транзистор) в закрытом (разомкнутом) состоянии имеет достаточно большое сопротивление. При этом становится возможным управление более значительным током возбуждения и с более высокой скоростью коммутации. При таком дискретно-импульсном управлении ток возбуждения имеет импульсный характер, что позволяет управлять как частотой импульсов тока, так и их длительностью. Однако основная функция ЭРН (поддержание постоянства напряжения $U_г$ при n = Var и при β = Var) остается такой же, как и в ВРН.

• С освоением микроэлектронной технологии регуляторы напряжения сначала выпускались в гибридном исполнении, при котором бескорпусные полупроводниковые приборы и навесные миниатюрные радиоэлементы включались в электронную схему регулятора вместе с толстопленочными микроэлектронными резистивными элементами. Это позволило значительно уменьшить массу и габариты регулятора напряжения.

Примером такого электронного регулятора напряжения может служить гибридно-интегральный регулятор Я-112А, который устанавливается на современных отечественных генераторах.

Регулятор Я-112А (см. схему на рис. 7.5) является типичным представителем схемотехнического решения задачи дискретно-импульсного регулирования напряжения $U_г$ генератора по току $I_в$ возбуждения. Но в конструктивном и технологическом исполнении выпускаемые в настоящее время электронные регуляторы напряжения имеют значительные различия.

Что касается исполнения регулятора Я-112А, все его полупроводниковые диоды и триоды бескорпусные и смонтированы по гибридной технологии на общей керамической подложке совместно с пассивными толстопленочными элементами. Весь блок регулятора герметичен.

Регулятор Я-112А, как и описанный выше вибрационный регулятор напряжения, работает в прерывистом (ключевом) режиме, когда управление током возбуждения не аналоговое, а дискретно-импульсное. Принцип работы регулятора Я-112А заключается в следующем.

Пока напряжение $U_г$ генератора не превышает наперед заданного значения, выходной каскад V4-V5 находится в постоянно открытом состоянии и ток $I_в$ обмотки возбуждения напрямую зависит от напряжения $U_г$ генератора (участок 0-п на рис. 7.3 и рис. 7.4). По мере увеличения оборотов генератора или уменьшения его нагрузки $U_г$ становится выше порога срабатывания чувствительной входной схемы (V1, R1-R2), стабилитрон пробивается, и через усилительный транзистор V2 выходной каскад V4-V5 закрывается. При этом ток $I_в$ в катушке возбуждения выключается до тех пор, пока $U_г$ снова станет меньше заданного значения U_{min}. Таким образом, при работе регулятора ток возбуждения протекает по обмотке возбуждения прерывисто, изменяясь от $I_в = 0$ до $I_в = I_{max}$. При отсечке тока возбуждения напряжение генератора сразу не падает, так как имеет место инерционность размагничивания ротора. Оно может даже несколько увеличиться при мгновенном уменьшении тока нагрузки генератора. Инерционность магнитных процессов в роторе и ЭДС самоиндукции в обмотке возбуждения исключают скачкообразное изменение напряжение генератора как при включении тока возбуждения, так и при его выключении. Таким образом, пилообразная пульсация напряжения $U_г$ генератора остается и при электронном регулировании.

Логика построения принципиальной схемы электронного регулятора следующая: V1 — стабилитрон с делителем R1, R2 образуют входную цепь отсечки тока $I_в$ при $U_г$ > 14,5 В; транзистор V2 управляет выходным каскадом; V3 — запирающий диод на входе выходного каскада; V4, V5 — мощные транзисторы выходного каскада (составной транзистор), включенные последовательно с обмоткой возбуждения (коммутирующий элемент КЭ для тока $I_в$); V6 — шунтирующий диод для ограничения ЭДС самоиндукции обмотки

Таблица 7.1

Перечень автомобильных электрогенераторов переменного тока зарубежных фирм (только для легковых автомобилей с номинальным напряжением в бортсети 12...14 В), которые оборудованы интегральными регуляторами напряжения

1	Фирма BOSCH (ФРГ): [illegible]
2	Концерн VALEO (Франция): [illegible]
3	Фирма LUCAS (Великобритания): [illegible]
4	Фирма MAGNETI-MARELLI (Италия): [illegible]
5	Фирмы DELCO-REMI и MOTORCRAFT (США): [illegible]
6	Филиал фирмы DELCO-REMI (Франция): [illegible]

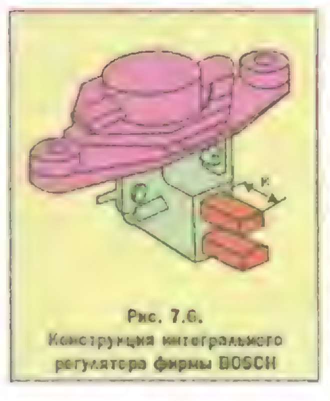


Рис. 7.6. Конструкция интегрального регулятора фирмы BOSCH

возбуждения; R4, C1, R3 — цепочка обратной связи, ускоряющая процесс отсечки тока $I_в$ возбуждения.

Еще более совершенным регулятором напряжения является электронный регулятор в интегральном исполнении. Это такое исполнение, при котором все его компоненты, кроме мощного выходного каскада (обычно это составной транзистор), реализованы с помощью тонкопленочной микроэлектронной технологии. Эти регуляторы настолько миниатюрны, что практически не занимают никакого объема и могут устанавливаться непосредственно на корпусе генератора в щеткодержателе.

Примером конструктивного исполнения ИРН может служить регулятор фирмы BOSCH–EL14V4C, который устанавливается на генераторах переменного тока мощностью до 1 кВт (рис. 7.6).

В заключение следует отметить, что интегральные регуляторы напряжения, в принципе, ремонту не подлежат. Кроме некоторых отдельных случаев, которые подробно описаны ранее в главе 6.

Глава восьмая

ЭЛЕКТРОСТАРТЕР СОВРЕМЕННОГО ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ

В автомобильном электростартере нового поколения электродвигатель не имеет статорных обмоток возбуждения, которые заменены на постоянные магниты, а механический привод дооборудован понижающим планетарным редуктором, который установлен непосредственно в корпусе стартера. Это позволило сделать стартер высокооборотистым, легким, малых размеров и более эффективным в работе.

8.1. Стартерный электродвигатель

Классический* электростартер — это устройство, состоящее из электродвигателя (ЭДВ) постоянного тока с последовательной обмоткой возбуждения, который на время пуска двигателя внутреннего сгорания (ДВС) подключается к аккумуляторной батарее (АКБ) с помощью пускового тягового реле (ПТР). Это же реле посредством рычага с вилкой перемещает по оси стартера муфту свободного хода (МСХ) и тем самым механически сочленяет шестерню на валу стартерного электродвигателя непосредственно с венечной шестерней маховика ДВС (см. далее рис. 8.8).

Конструкция стартера, при которой вал электродвигателя соединяется прямо с маховиком ДВС, имеет ряд недостатков. Так, передаточное число главного редуктора, состоящего из венечной шестерни маховика и шестерни МСХ, не может быть достаточно высоким. Ограничения накладываются расчетным размером диаметра маховика, а также числом, размером и прочностью зубцов шестерни МСХ. В такой редукторной паре соотношение зубцов не может быть более 16—18.

Это приводит к необходимости использовать в стартере такой электродвигатель, у которого обороты якоря «мягко» сочетаются с механической нагрузкой на валу. К таким относятся электродвигатели с последовательной обмоткой возбуждения, обладающие мягкой механической характеристикой (рис. 8.1, а). Именно такие ЭДВ широко применяются в классических электростартерах.

Конструктивным недостатком ЭДВ с последовательным возбуждением является то, что в нем ток возбуждения, равный току якоря, делает обмотку возбуждения громоздкой, сильно нагревающейся, а магнитную систему статора недостаточно эффективной и с низким КПД. Даже при заданном ограничении на время работы стартер получается тяжелым и больших размеров. Кроме того, ЭДВ с последовательным возбуждением в режиме холостого хода может пойти "вразнос".

* См. сноску на стр. 6 главы 1.

От указанных недостатков свободны ЭДВ с независимым (от тока якоря) возбуждением.

Независимое возбуждение магнитного поля на статоре ЭДВ можно получить тремя способами:

— обмоткой возбуждения, которая подключена к отдельному от якоря источнику электрической энергии (управляемое независимое возбуждение — рис. 8.1, б);

— обмоткой возбуждения, подключенной параллельно якорю ЭДВ (параллельное возбуждение — рис. 8.1, в);

— постоянными магнитами на статоре (возбуждение от постоянных магнитов относится к неуправляемому независимому возбуждению — рис. 8.1, д).

Электродвигатель с питанием обмотки возбуждения от независимого источника (рис. 8.1, б) в автомобильной системе электростартерного пуска не используется, так как на борту автомобиля один пусковой источник электрической энергии — аккумуляторная батарея.

Электродвигатели с чисто параллельным возбуждением (рис. 8.1, в) в автомобильных электростартерах неэффективны, так как напряжение АКБ при пуске ДВС в зимнее время (при температуре ниже -20°С) резко падает до 8–9 В. При этом намагничивающая сила параллельной обмотки возбуждения, а следовательно, и крутящий момент стартера значительно ослабевают, пуск ДВС становится невозможным. Кроме того, характеристика ЭДВ с параллельным возбуждением жесткая, что недопустимо при низком передаточном соотношении между оборотами стартерного ЭДВ и оборотами коленвала ДВС, так как это может привести к ударным перегрузкам и поломкам в зубцах механического привода.

Однако жесткость характеристики ЭДВ обеспечивает плавность хода стартера, а также ограниченность оборотов холостого хода, и поэтому параллельное возбуждение иногда вводится в ЭДВ классического электростартера дополнительно к последовательному (рис. 8.1, г). Такое возбуждение обеспечивает ЭДВ усредненную (умеренно жесткую) механическую характеристику и называется смешанным. Используется, например, в стартерах для автомобилей ВАЗ.

Исключительно удачным техническим решением для автомобильного электростартера является наличие в его конструкции электродвигателя с независимым возбуждением от постоянных мвгнитов (рис. 8.1, д) и дополнительного понижающего планетарного редуктора, установленного непосредственно внутри корпуса стартера между валом электродвигвтеля и осью, по которой перемещается муфта свободного хода (о планетарных редукторах см. ниже).

Такие стартеры имеют следующие преимущества.

Во-первых, главное магнитное поле электродвигателя с постоянными магнитами на статоре не зависит ни от тока якоря, ни от падения напряжения АКБ при пуске ДВС.

Рис. 8.1.
Разновидности электродвигателей, различающиеся по способу возбуждения, и их механические характеристики

Во-вторых, система постоянных магнитов нв статоре электродвигателя делвется многополюсной (не менее шести полюсов), что позволяет заметно уменьшить габариты магнитной системы (постоянные магниты значительно меньше электромагнитов), а следовательно, и всего стартера в целом. КПД и обороты стартерного электродвигателя с многополюсным статором также выше.

В-третьих, сами постоянные магниты выполняются не из сплавов дорогостоящих металлов, а из спекаемых ферритовых порошков с большой коэрцитивной силой, что делает магниты легкими, прочными, технологичными и, как следствие, дешевыми.

В-четвертых, наличие дополнительного понижающего редуктора в электростартерной системе пуска позволяет оптимально согласовать жесткую механическую характеристику электродвигателя независимого возбуждения с минимальной пусковой частотой вращения коленвала ДВС при максимальной мехвнической нагрузке стартера.

И наконец, в-пятых, стартерный ЭДВ с независимым возбуждением от постоянных магнитов и с дополнительным редуктором может работать в режиме повышенных оборотов при пуске холодного двигателя, потребляя при этом от АКБ меньший ток по сравнению с классическим стартером. КПД стартерного режима АКБ и надежность пуска ДВС увеличиваются.

Как и любая новая техника, электростартеры с планетарным редуктором и с возбуждением от постоянных магнитов на начальном этапе внедрения обладали некоторыми недостатками: они были значительно дороже классических за счет высокой стоимости постоянных магнитов и планетарного редуктора; в них быстрее изнашивались щетки из-за более высоких оборотов; их работа сопровождалась повышенным шумом.

Современная технология изготовления стартеров нового поколения исключает эти недостатки. Так, постоянные магниты, как уже отмечалось, стали ферритовыми. Главная шестерня планетарного редуктора изготавливается литьем под давлением из термореактивной пластмассы. Пластмассу армируют бронзой, что делает планетарную шестерню прочной, износостойкой, технологичной и дешевой. Остальные детали дополнительного редуктора обычного исполнения. Планетарный редуктор с пластмассовой шестерней не шумит. Быстрый износ коллекторных щеток устранен применением в них более жесткого графита и удалением из него порошковой меди. Последнее стало возможным за счет понижения величины якорного тока. Уменьшена сила прижатия щеток к коллектору.

Однако следует заметить, что стоимость стартера нового поколения пока еще несколько выше стоимости классического. Но если 15 лет назад разница в цене была около 150%, то в последнее время она не превышает 50%.

8.2. Устройство стартера

На рис. 8.2, а приведена конструкция стартера с постоянными магнитами на статоре ЭДВ и с дополнительным планетарным редуктором. Аналогичную конструкцию имеет стартер фирмы BOSCH типа DW:12/1.1 серии 0.001.108.009 (рис. 8.2, б), на примере которого рассмотрим особенности устройства электростартеров современных легковых автомобилей.

Любой автомобильный электростартер, как классический, так и современный, состоит из пяти основных функциональных узлов: якоря 24 — это вращающая часть ЭДВ стартера; статора 4, 25, 26 — неподвижная часть ЭДВ; коллекторно-щеточного механизма (КЩМ) 2, 27; пускового тягового электрореле (ПТР), 5...11 и передаточного механизма внутри стартера 14...22. С помощью двух стартерных крышек 1 и 15 и статорного ярма 26, являющегося также корпусом стартера, функциональные узлы сочленяются в единую конструкцию пускового устройства — электростартер, который по отношению к ДВС является навесным агрегатом.

Назначение всех перечисленных функциональных узлов в классическом стартере общеизвестно и не требует пояснений. Современный электростартер по сравнению с классическим имеет два основных конструктивных отличия: статор не имеет обмоток возбуждения, так как оснащен постоянными магнитами 4, 25, а передаточный механизм, находящийся внутри стартера, дополнен планетарным редуктором 20...22.

Рассмотрим детально указанные отличия.

Рис. 8.2.
Стартер с возбуждением от постоянных магнитов и с планетарным редуктором:
а — внешний вид стартера BOSCH DW:12/1.1 (статор снят); б — конструкция стартера; 1 — задняя (тыльная) крышка; 2 — ламельный коллектор; 3 — токовый провод; 4, 26 — постоянные ферритовые магниты; 5 — токовый контактор тягового реле; 6 — пусковое тяговое реле (ПТР); 7 — включатель ПТР; 8 — соленоид ПТР; 9 — возвратная пружина; 10 — толкатель включателя; 11 — тяговый керн ПТР; 12 — резиновая заглушка; 13 — втулка с осью для вилки МСХ; 14 — вилка муфты МСХ; 15 — передняя (лобная) крышка — станина стартера; 16 — шток поводковой муфты; 17 — вторичный (выходной) вал; 18 — шестерня МСХ; 19 — муфта свободного хода (МСХ); 20 — большая неподвижная шестерня планетарного редуктора; 21 — водило на торце вторичного вала; 22 — сателлитная шестерня; 23 — первичный вал (вал ЭДВ) с ведущей шестерней планетарного редуктора; 24 — якорь ЭДВ; 25 — ярмо (магнитопроводящее кольцо) статора; 26 — постоянный магнит; 27 — щетка КЩМ.

8.3. Статор

Замена статорных обмоток возбуждения постоянными магнитами, помимо изменений электромагнитных параметров ЭДВ, повлекла за собой принципиальные конструктивные изменения в устройстве статора и роторного узла.

На рис. 8.3 приведено схематическое изображение электрических и магнитных цепей статора с постоянными магнитами.

На рисунке обозначено: NS — северный (синий) и южный (красный) полюсы постоянных магнитов ста-



Рис. 8.3.
Схема электрических и магнитных цепей стартера BOSCH DW:12/1.1

тора; a, b, c, d — щетки КЩМ (желтый цвет), соединенные попарно (a+d — проводом Б+, b+c — проводом Б-); B — силовые линии (зеленый цвет) главного магнитного поля ЭДВ; (1—6), (14—19), (15—20), (28—5) — номера токопроводных стержней якорной обмотки (оранжевый цвет), подключенные к щеткам и находящиеся в магнитном поле; ω — вал якоря.

Массивная литая станина ярма статора заменена легким статорным цилиндром К, который свернут из листового железа (1,6 мм). Соединительный шов на поверхности цилиндра «зашит» фигурными замками, которые для надежности проварены точечной электросваркой. Защелки фигурных замков и все прочие крепежные элементы вырубаются или продавливаются штамповкой еще до свертки листа в цилиндр. Отдельным штампом на обечайку наносится маркировка.

После свертки и сварки во внутрь магнитного ярма статора устанавливаются постоянные магниты. Постоянные магниты из ферритов твердые, но хрупкие. Их крепление к ярму не может быть механически жестким (под болт), так как, находясь под затяжкой, ферриты даже при незначительных ударах могут растрескаться.

Проблема крепления и фиксации ферритовых магнитов решена с помощью шести пружинных фиксаторов Ф, вдвинутых между магнитами. Каждый фиксатор — это продольная упругая стальная пластина с П-образным профилем и с упорами с одной стороны. В собранном виде ферритовые магниты расперты упругими усилиями этих фиксаторов, за счет чего надежно прижаты к внутренней поверхности статорного цилиндра. Точная установка и фиксация собранной магнитной системы "по месту" обеспечивается защелками фиксаторов, которые представляют собой окна в упругих пластинах, надвинутые при сборке на зубцовые вырубы в статорном цилиндре.

Ферритовые магниты установлены на статорном ярме с чередованием полярности, что образует шестиполюсный (N-S-N-S-N-S) статор современного стартерного электродвигателя (см. рис. 8.3).

Указанные конструктивные отличия обеспечивают статору малые габариты и вес, компактность, простоту в сборке и высокую эксплуатационную надежность.

8.4. Якорь

Якорь электродвигателя стартера BOSCH-DW: 12/1.1 является составной частью роторного узла (рис. 8.4). Якорь состоит из магнитопровода 4, рабочей якорной обмотки 3, ламельного коллектора 2 и вала вращения 1.

Магнитопровод собран из 64 магнитомягких пластин толщиной 0,46 мм, изолированных друг от друга лаком, спрессованных и склеенных в единое цельное тело. В магнитопровод запрессован вал 1 вращения, на одном конце которого нарезано 11 зубцов ведущей шестерни 8, а на другом установлен 28-ламельный коллектор 2. Магнитопровод якоря имеет 28 пазов 6, расположенных точно напротив ламелей.

Рис. 8.4.
Роторный узел стартера BOSCH-DW:12/1.1:
1 — первичный вал (вал ЭДВ); 2 — ламельный коллектор; 3 — якорная обмотка; 4 — магнитопровод якоря; 5 — продольная балансировочная выборка; 6 — паз якорного магнитопровода; 7 — фиксатор планетарной шестерни; 8 — ведущая шестерня планетарного редуктора (на валу ЭДВ); 9 — неподвижная планетарная шестерня; 10 — поводковая муфта; 11 — муфта свободного хода (МСХ); 12 — шестерня МСХ; 13 — проточка под запорное пружинное кольцо; 14 — крышка запорного пружинного кольца; 15 — запорное пружинное кольцо; 16 — вторичный (выходной) вал стартера.

В каждый паз магнитопровода вложено по два токопроводящих стержня рабочей обмотки, которые таким образом образуют двухстержневую (парную) полурамку. Каждый стержень — это половина U-образного витка, изогнутого по шаблону и вложенного в пазы якорного магнитопровода с лобной стороны в сторону коллектора. На ламелях концы U-образных витков попарно свариваются контактной электросваркой, при этом на якоре образуется 28 якорных рамок, соединенных последовательно и замкнутых в кольцо.

U-образные витки уложены в пазы за пять обходов по окружности якоря. На рис. 8.5 схематически показана последовательность подсоединения U-образных витков к коллекторным ламелям при первом (сплошные линии) и втором (штриховые) обходах окружности якоря. Из рисунка очевиден порядок сборки якорной обмотки: первая волна — задействованы ламели 1-6-11-16-21-26-3; вторая волна — ламели 3-8-13-18-23-28-5; третья волна — ламели 5-10-15-20-25-2-7; четвертая волна — ламели 7-12-17-22-27-4-9; пятая волна — задействованы ламели 9-14-19-24-1. Ясно, что начало первого витка и конец последнего 28-го короткозамкнуты на одну (условно первую) ламель коллектора, так как они уложены в один (условно первый) паз якорного магнитопровода.

Таким образом из 28 U-образных токопроводящих круговых рамок складывается последовательная волновая коротко замкнутая пятиобходная якорная обмотка на якоре барабанного типа.



Рис. 8.5.
Последовательность подсоединения витков якорной обмотки к ламелям коллектора (стартер BOSCH-DW:12/1.1): 1...28 — номера ламелей (коллектор развернут); желтый цвет — щетки КЩМ в положении якоря на рис. 8.3; красный и синий цвет — зоны действия южного и северного полюсов статорных магнитов; •°• — стержни якорных витков

Следует заметить, что в данном случае число якорных рамок, равное 28, не кратно числу статорных полюсов, которых шесть. Здесь важно другое: при любой конструкции барабанного якоря ширина каждой его токопроводящей рамки должна быть равна ширине полюсного деления на статоре (полюсное деление п —расстояние между центрами соседних разноименных магнитных полюсов, см. рис. 8.3). Этим обеспечивается наибольшее потокосцепление между магнитным полем статора и витками якорной обмотки, чем в свою очередь достигается максимальный КПД электродвигателя.

В конструкции стартера BOSCH-DW:12/1.1 сказанное достигается охватом одной токопроводящей рамкой сразу четырех якорных полюсов. Так как четыре якорных полюса по ширине совпадают с шириной одного полюса на статоре, то потокосцепление полное.

Еще одной особенностью конструкции якоря является то, что четыре несимметрично расположенных щетки КЩМ делят обмотку якоря на четыре ветви, не равных по числу витков. При этом электрическая схема включения ветвей получается такой, как показано на рис. 8.3.

Из рисунка видно, что рабочий ток якоря протекает по ветвям a b и c d, в каждой из которых по четыре витка. Таким образом, во время работы ЭДВ под рабочим током якоря находятся только 8 стержней из 56 или 4 рамки из 28. Остальные рамки в формировании крутящего момента ЭДВ участия не принимают до тех пор, пока при повороте якоря их положение не станет рабочим.

Для каждого рабочего положения рамок создается момент вращения ЭДВ стартера: $M_{ст} = 8FR$, где 8 — число стержней, включенных в работу; F — сила электромагнитного взаимодействия электрического тока якоря и магнитного поля статора; R — средний радиус якорной рамки.

Во время работы ЭДВ происходит переключение витков якорной обмотки с помощью КЩМ.

Щетки относительно магнитной системы статора и внешней электрической цепи всегда неподвижны. Это обеспечивает постоянство крутящего момента ЭДВ как по направлению, так и по величине. Максимальный крутящий момент ЭДВ в заторможенном стартере BOSCH-DW:12/1.1 около 15 Нм.

Еще одной интересной особенностью описываемого стартерного ЭДВ является наличие на его статоре «неработающих» постоянных магнитов. Действительно, как следует из положения якоря, показанного на рис. 8.3 под полюсами N1 и S3, витки якорной обмотки в секциях (28...20) и (14...6) коротко замкнуты соединительными проводами Б+ и Б– между щетками a d и c b. Ясно, что закороченные секции якорной обмотки нерабочие. Казалось бы, можно допустить, что и полюса N1 и S3 нерабочие. Однако магнитная система статора рассчитана и сконструирована таким образом, что эти полюса выполняют три рабочие функции: обеспечивают равномерное распределение главного магнитного поля по всему круговому периметру воздушного зазора между статорными магнитами и магнитопроводом якоря; оптимизируют положение физической нейтрали магнитного поля якоря относительно щеток КЩМ и, таким образом, являются компенсационными (дополнительными) полюсами; уменьшают противоэлектродвижущую силу на щетках, улучшая коммутацию. В этой связи сами щетки несколько развернуты (на угол 12°) относительно геометрической нейтрали статорных полюсов в сторону против вращения якоря.

И последнее. Якорь современного электростартера обязательно точно балансируется. Эта технологическая операция стала необходимой, так как электродвигатель стартеров нового поколения высокооборотистый. Балансировку реализуют проточкой якоря после того, как он окончательно собран и залит эпоксидным компаундом. Точная доводка балансировки осуществляется с помощью продольных выборок на полюсах якорного магнитопровода (см. рис. 8.4). Выборки прорезаются алмазным кругом.

8.5. Планетарный редуктор

Уже отмечалось, что основной отличительной чертой передаточного механизма стартеров нового поколения является наличие в нем понижающего планетарного редуктора (рис. 8.6).

Планетарный — это такой редуктор, у которого большая шестерня 1 имеет зубцы с внутренним зацеплением и сочленена с малой ведущей шестерней 4 наружного зацепления через несколько сателлитных шестерен 5. При этом и ведущая, и ведомая шестерни соосны, а сателлиты находятся между ними и внутри большой (планетарной) шестерни. Оси сателлитных шестерен могут быть установлены как

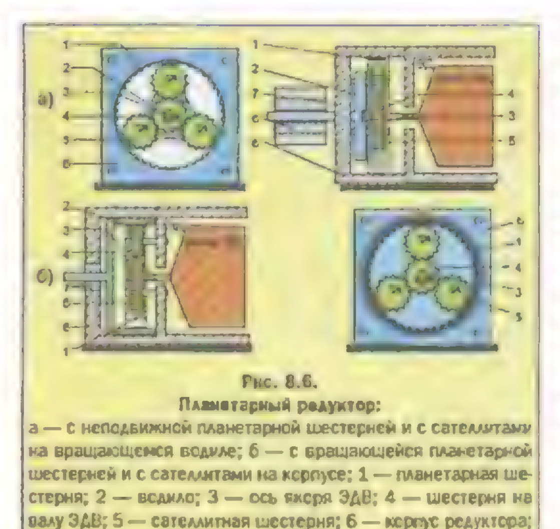


Рис. 8.6.
Планетарный редуктор:
а — с неподвижной планетарной шестерней и с сателлитами на вращающемся водиле; б — с вращающейся планетарной шестерней и с сателлитами на корпусе; 1 — планетарная шестерня; 2 — водило; 3 — ось якоря ЭДВ; 4 — шестерня на валу ЭДВ; 5 — сателлитная шестерня; 6 — корпус редуктора; 7 — подшипник; 8 — муфта свободного хода.

на корпусе первичного приводного устройства (рис. 8.6, а), так и непосредственно на торцевом водиле вторичного (выходного) вала редуктора (рис. 8.6, б). В первом случае большая планетарная шестерня вращается и сама является водилом выходного вала; во втором — она неподвижна, так как жестко закреплена в корпусе 6 редуктора. Во втором случае сателлиты, установленные на водиле 2 и сочлененные с шестерней 4 первичного вала, обегают внутренние зубья неподвижной планетарной шестерни 1 и тем самым приводят водило 2 во вращение.

В автомобильных электростартерах более широкое распространение получил планетарный редуктор второго типа.

На рис. 8.7 показан внешний вид передаточного механизма стартера BOSCH-DW:12/1.1, в состав которого входит планетарный редуктор. Для удобства восприятия передаточный механизм, показанный на фото, частично разобран: планетарная шестерня снята с сателлитов 2, а муфта свободного хода 8 — сдвинута с направляющих пазов 6 выходного вала 10 стартера.

Как и любой другой, планетарный редуктор состоит из двух основных шестерен (рис. 8.4): ведущей 11-зубцовой шестерни 8 на валу 1 ЭДВ и большой планетарной шестерни 9, изготовленной из пластмассы. Последняя, имеющая 37 зубцов внутреннего зацепления, неподвижно установлена в корпусе стартера с помощью фиксирующих шпилек 7. Внутренние детали планетарного редуктора показаны на рис. 8.7: водило 3 установлено на торце выходного вала 10, оно одновременно является установочной площадкой для осей 1 вращения трех сателлитов. Сателлитные 13-зубцовые шестерни 2 (сателлиты) планетарного редуктора, их три, упираясь в неподвижную планетарную шестерню, передают вращение вала ЭДВ на водило. Оси 1 после установки на них сателлитных шестерен 2 запрессованы в тело водила 3, поэтому сателлиты с осей — несъемные.

При сборке, когда узел (7, 8, 9) муфты свободного хода снят с вала 10, пластмассовая планетарная шестерня надвигается на посадочное место 4 выходного вала стартера (до упора в торец водила). В пластмассу планетарной шестерни залита бронзовая втулка, которая для вторичного вала является опорным подшипником. Вторым опорным подшипником для вала с водилом является бронзовая втулка, запрессованная в лобную крышку стартера. Планетарная шестерня фиксируется на валу для предотвращения обратного продольного смещения с помощью плоской пружинной защелки, под которую подкладывается дистанционная шайба. Планетарная шестерня накрывает сателлиты, которые при этом входят в зацепление с ее внутренними зубцами.

При окончательной сборке стартера шестерня вала ЭДВ вдвигается своими зубцами между тремя сателлитами, а подшипниковый торец вала ЭДВ входит в бронзовую втулку, запрессованную в водило. Эта втулка является передним подшипником скольжения для якоря ЭДВ. Задним подшипником служит бронзовая втулка, запрессованная в тыльную крышку стартера.

Все три подшипника скольжения (медно-графитовые втулки) являются съемными и при ремонте стартера могут быть заменены на новые.

В некоторых автомобильных электростартерах встроенный понижающий редуктор может быть не планетарным, а простым рядным, имеющим обычное внешнее или внутреннее зацепление двух шестерен.

Из отечественных автомобилей таким стартером впервые был оснащен правительственный автомобиль ЗИС-110.



Рис. 8.7.
Приводной механизм стартера BOSCH-DW:
12/1.1: 1 — ось сателлита; 2 — сателлит планетарного редуктора; 3 — водило на торце вторичного вала; 4 — посадочное место для планетарной шестерни (шестерня снята); 5 — проточка под пружинную защелку; 6 — направляющие спиральные пазы для МСХ; 7 — поводковая муфта; 8 — муфта свободного хода (МСХ); 9 — шестерня МСХ; 10 — вторичный (выходной) вал стартера.

Однако планетарный редуктор, который иногда называют редуктором Джемса, имеет преимущества перед всеми известными конструкциями: он малогабаритен; компактен; обладает равномерным распределением нагрузки по зубцам, а значит, более надежен в работе; имеет одно направление вращения входного и выходного валов; обеспечивает повышенное передаточное число n при относительно малых размерах ($n = 1 + W_2/W_1$); планетарный редуктор с пластмассовой шестерней не требует обильной смазки, что особенно важно при работе в приводном механизме автомобильного электростартера.

Благодаря применению стартера с планетарным редуктором передаточное число между оборотами коленвала ДВС и якорем стартерного электродвигателя может быть увеличено до 80 (вместо 16 при классическом исполнении стартера).

8.6. Диагностика неисправностей

Из общеизвестных неисправностей к стартеру с постоянными магнитами и планетарным редуктором относятся: износ коллекторных ламелей и щеток, износ бронзовых подшипников скольжения, выход из строя муфты свободного хода, окисление силовых проводов стартера, эрозия токовых контактов пускового тягового реле и ослабление крепления стартера к двигателю. Проявление этих неисправностей такое же, как и на обычном стартере.

Специфическими неисправностями данного стартера являются нарушение целостности пластмассовой шестерни планетарного редуктора и очень редко раскол ферритовых магнитов, расположенных внутри статорного цилиндра.

За исключением якоря, тягового реле и муфты свободного хода, все узлы электростартеров фирмы BOSCH разборны. Это позволяет проводить качественный ремонт электростартеров, если нет проблем с запчастями.

Целостность пластмассовой шестерни чаще всего нарушается зимой. С понижением температуры сопротивление прокручиванию вала ДВС резко возрастает. При этом возрастает нагрузка на зубцы планетарной шестерни, а также на всю шестерню в целом. Как следствие, пластмассовое тело планетарной шестерни может быть расперто изнутри металлическими сателлитами, что приводит к появлению трещин в теле шестерни и к сколу зубьев.

В таком состоянии стартер может продолжать работать некоторое время за счет упругости пластмассы или за счет попадания сателлитов на уцелевшие зубцы планетарной шестерни. При очередной попытке запустить ДВС эта неисправность проявляется в виде прокручивания электродвигателя стартера "вхолостую", аналогично тому, как это бывает при выходе из строя муфты свободного хода. Включая и выключая электростартер ключом зажигания, можно случайно запустить ДВС, но разрушение планетарной шестерни при этом только прогрессирует, и стартер окончательно выходит из строя.

Итак, если стартер при запуске ДВС начинает работать с прокручиванием — это достоверный признак того, что либо МСХ, либо ее привод, либо планетарная шестерня пришли в негодность. Признаком раскола и высыпания статорных ферритовых магнитов является прекращение вращения стартера или вращение рывками. Однако надо помнить, что якорь стартера не будет вращаться и при выходе из строя контактора в пусковом тяговом реле.

Ясно, что для устранения перечисленных неисправностей стартер необходимо снять с автомобиля и разобрать.

8.7. Ремонт

Рассмотрим особенности ремонта стартера BOSCH-DW:12/1.1, который устанавливался на автомобилях АУДИ-100-5 (модели до 1991 г.).

Перед снятием стартера надо повторно убедиться в том, что он надежно закреплен. После недавно проводившегося ремонта стартера бывает так, что исправный стартер прокручивается вхолостую, так как он не дотянут до посадочного места. В таком случае необходимо затянуть крепежные болты и вновь проверить стартер.

Стартер крепится к ДВС двумя болтами с головками под ключ 19. Верхний болт со стороны коробки переключения передач завернут в резьбу в крепежной проушине стартера, а нижний через нижнюю проушину без резьбы затягивается гайкой на 19 со стороны моторного отсека.

- Перед снятием стартера с его токовой клеммы необходимо отсоединить силовые провода, привернутые к клемме гайкой на 13, а также отсоединить провода управления. Снятый стартер перед разборкой необходимо промыть соляркой или керосином, просушить воздухом или протереть ветошью.
- Разбирать стартер следует в следующем порядке (см. рис. 8.2):

— Снимите пусковое тяговое реле (ПТР) 6, для чего отверните три крепежных болта «строгой» отверткой (болты крепко посажены, и можно легко повредить шлицы). Затем выньте тяговой керн 11 с возвратной пружиной 9 из соленоида 8, освободив керн от зацепления с рычагом вилки 14.

— Отверните два длинных болта, стягивающих корпус стартера, выньте их и расчлените стартер на две части: лобную (переднюю) с механизмом привода и заднюю (тыльную) с якорем и КЩМ стартерного электродвигателя.

— С помощью затупленной отвертки извлеките резиновую заглушку 12, которая удерживает в крышке пластмассовую втулку 13 с рычагом вилки 14, строньте втулку с места и выньте передаточный механизм из лобной крышки 15 вместе с муфтой свободного хода 19 и с ее вилкой.

— Снимите вилку 14 со штока 16 поводковой муфты, для чего слегка разведите один конец вилки (вилка изготовлена из эластичной пластмассы).

— Разберите и снимите запорное устройство 14, 15 (см. рис. 8.4) с вала. Разобрать запорное устройство можно без специального инструмента. Для этого прочную отвертку с тонким и узким (1,5 мм) жалом надо вставить в проточку 13 на валу в том месте, где запорная пружина 15 разомкнута. Затем, упершись жалом отвертки в проточку, сдвиньте крышку 14 с пружины до положения, при котором хотя бы один ее конец выйдет из-под крышки. (Сразу всю крышку сдвинуть с пружины невозможно.) Резко, но несильно ударьте молотком через металлическую прокладку (лучше через трубку, надетую на вал) по выступающему вверх торцу защитной крышки, при этом она сойдет с запорной пружины. Снимите запорную пружину, а также крышку с вала и стащите с него муфту свободного хода. Снимите пластмассовую планетарную шестерню, для чего вытолкните из проточки 5 (см. рис. 8.7) плоскую фигурную защелку. Планетарную шестерню тщательно осмотрите и убедитесь в ее целостности и целостности ее зубцов. Если на шестерне имеются даже незначительные трещины или зубцы частично истерты, шестерню необходимо заменить.

Теперь разберите электродвигатель стартера.

— Снимите защитную планшайбу с приводной шестерни электродвигателя.

— Вытолкните якорный узел из корпуса статора, нажимая большим пальцем одной руки на ось ЭДВ и удерживая другой рукой корпус. При этом постоянные магниты статора будут препятствовать выталкиванию, втягивая якорный узел обратно. Не допускайте обратного удара якорем по магнитам статора. Может иметь место раскол ферритов.

— Внимательно осмотрите статорный цилиндр, внутри которого с помощью распорных плоских и длинных пружинных защелок Ф (см. рис. 8.3) установлены и жестко зафиксированы шесть постоянных магнитов. Вынимать ферритовые магниты из статорного цилиндра без надобности не следует, так как их обратная установка — достаточно сложная процедура. Если при осмотре статора обнаружится, что один или два ферритовых магнита имеют трещины, но при этом жестко сидят на своих местах, заменять их не следует, так как магниты сохраняют свою работоспособность и в таком состоянии. В этом случае ферритовые магниты следует пропитать клеем БФ. Если ферриты расколоты настолько, что высыпаются из креплений, то все шесть ферритовых магнитов необходимо вынуть из статорного цилиндра, предварительно пометив их расположение и полярность краской. Рассыпавшиеся ферриты необходимо заменить целыми, взятыми от другого такого же стартера. Если такой возможности нет, можно попытаться склеить расколотый феррит эпоксидным клеем.

Обратная установка ферритовых магнитов в статорный цилиндр требует особой осторожности. Нельзя допускать путаницы с полярностью и расположением магнитов. Если один или несколько магнитов заменены новыми, то их полярность при установке должна соответствовать полярности системы. Магниты устанавливают в статорный цилиндр с чередованием полюсов, при этом образуется круговой шестиполюсный постоянный магнит N-S-N-S-N-S. Некоторые фирмы, изготовляющие ферритовые магниты для электростартеров, помечают полярность краской или знаками (+), (-), обычно синий цвет и (+) — это северный полюс. Если меток на ферритовом магните нет, то его полярность можно определить по притягиванию разноименных полюсов N-S.

• Установка ферритов — достаточно сложная процедура. В заводских условиях ферритовые магниты предварительно подсобираются в специальной разборной оправке, которая затем вместе с магнитами вставляется в статорный цилиндр. При ремонтной сборке «вручную» последовательность действий может быть следующей: между магнитами поочередно вдвигаются распорные пружины. При этом каждая пружина защелкивается на фиксирующем выступе внутренней поверхности статорного цилиндра.

Если среди шести устанавливаемых ферритов есть склеенные, их должно быть не более двух. Устанавливать склеенные магниты лучше в позициях дополнительных полюсов (N1 и S3 на рис. 8.3).

Последний пружинный фиксатор следует вставлять на место с особой осторожностью, т.к. при большом усилии его можно согнуть, а деформированный фиксатор к дальнейшему использованию не пригоден.

После фиксации последней пружины качество сборки проверяется осмотром.

• Теперь о ремонте якорного узла.

Ремонтные операции на якоре традиционные. Если имеется заметный износ коллекторных ламелей, то коллектор необходимо проточить на токарном станке. Здесь надо иметь в виду, что толщина новой медной ламельной пластины 1,2 мм. Обтачивать коллектор можно на глубину не более 0,3 мм. После проточки коллектор необходимо отполировать тонкой шкуркой, промыть и тщательно продуть воздухом.

При выработке подшипниковых торцов якорного вала их можно обработать на токарном станке, но не резцом, а вращающимся шлифовальным камнем. В

таком случае втулки подшипников скольжения необходимо изготовить из бронзы или латуни под новые размеры торцов вала. Отверстия втулок после сверления необходимо пройти разверткой.

Однако чаще достаточно заменить втулки без обработки вала. Втулки поставляются в продажу как запчасти. Две подшипниковые втулки в крышках стартера легко выпрессовываются из своих посадочных мест оправкой. Втулка, запрессованная в торец водила, может быть расколота тонким зубильцем или извлечена резьбовой ввверткой. После установки новых втулок необходимо убедиться, что они не проворачиваются, в противном случае их необходимо посадить на эпоксидный клей. Подкернивать втулки не рекомендуется, т.к. медно-графитовый материал (из которого изготавливаются втулки) легко колется.

Щетки КЩМ, как правило, требуют замены. Щеточный узел лучше приобрести новый, так как его качественный ремонт связан с необходимостью проведения точечных электросварочных работ. Однако в крайнем случае провода щеток можно припаять к тоководам с помощью мощного электропаяльника. Щетки можно взять от отечественных электростартеров, подогнав их по форме надфилем, а по размеру — наждачной бумагой на притирочной плите.

Муфта свободного хода (МСХ) — деталь, которая при выходе из строя ремонту не подлежит. Если она неисправна, ее необходимо заменить. Проверить работоспособность МСХ можно так: зажмите МСХ в тисках через медные или алюминиевые прокладки за зубцы шестерни и попытайтесь вручную через наждачную бумагу, покачивая, провернуть муфту в обратном направлении. Если муфта исправна, то провернуть ее не удастся.

- Токовый медный жгут 3 (рис. 8.2) стартера изготовлен из очень тонких проволочек. Окисляясь, они рвутся внутри жгута, и весь электропровод может выйти из строя. Новый жгут можно изготовить из оголенных медных проводов и пропаять по месту вместо старого.

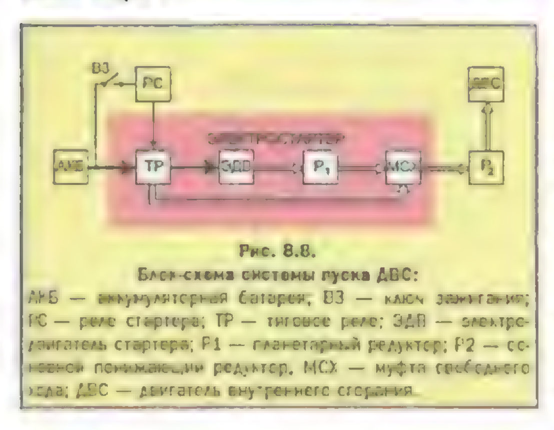


Рис. 8.8.
Блок-схема системы пуска ДВС:
АКБ — аккумуляторная батарея; ВЗ — ключ зажигания; РС — реле стартера; ТР — тяговое реле; ЭДВ — электродвигатель стартера; Р1 — планетарный редуктор; Р2 — соосный понижающий редуктор, МСХ — муфта свободного хода; ДВС — двигатель внутреннего сгорания.

- Уже отмечалось, что пусковое тяговое реле (ПТР) неразборное. Однако, если обмотки соленоида 8 не нарушены, а при срабатывании тягового реле 6 электрическое соединение в токовом контакторе 5 отсутствует, такую неисправность можно устранить, развернув на 180° токовые клеммы контактора. Для этого с клемм отворачивают гайки и фиксирующие шайбы, тогда клеммы можно будет протолкнуть во внутрь и развернуть.

- После завершения ремонтных работ на отдельных узлах стартер надо собрать в обратной последовательности по отношению к разборке.

Стартер, отремонтированный с соблюдением описанной технологии, может надежно работать не менее 80...100 тыс. км пробега.

- В заключение приведены основные параметры стартера BOSCH-DW:12/1.1 в сравнении с параметрами классического стартера BOSCH-EF:12/0.95 (см. табл. 8.1).

Таблица 8.1

№ п/п	Параметры	BOSCH DW:12/1.1	BOSCH EF:12/0.95
1	[illegible]	[illegible]	[illegible]
2	Мощность Рс номинальная, кВт	1.1	0.95
3	[illegible]	[illegible]	[illegible]
4	[illegible]	[illegible]	[illegible]
5	[illegible]	[illegible]	[illegible]
6	[illegible]	3.2	7.5
7	[illegible]	12	[illegible]
8	[illegible]	6	8
9	[illegible]	[illegible]	[illegible]
10	Передаточное число ЭДВ/ДВС для различных моделей ДВС	69; 74; 78	16; 17; 18
11	Вес стартера в сборе, кг	3,5	3,9
12	Вес стартерного электродвигателя, кг	1,6	2,2
13	Приведенный вес стартера, кг/кВт	3,18	4,1
14	Приведенный вес стартерного электродвигателя, кг/кВт	1,45	2,0

И последнее. Электростартер входит составной частью в систему пуска автомобильного двигателя внутреннего сгорания, которая включает в себя также аккумуляторную батарею и стартерные электроцепи (рис. 8.8).

Надежность работы системы пуска во многом определяет эксплуатационную надежность автомобиля в целом. Система пуска, оборудованная вышеописанным электростартером нового поколения и современной необслуживаемой аккумуляторной батареей, делает современный легковой автомобиль комфортабельным и безотказным при запуске ДВС.

Глава девятая

СОВРЕМЕННЫЕ АВТОМОБИЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

На легковых автомобилях, оборудованных бензиновым двигателем внутреннего сгорания, применяются различные системы электроискрового зажигания: контактные, контактно-транзисторные, бесконтактно-транзисторные, электронно-цифровые, микропроцессорные. Общие сведения о системах зажигания рассмотрены в главе 1. В данной главе описываются системы зажигания, которые наиболее широко используются на двигателях современных легковых автомобилей.

9.1. Транзисторные системы зажигания

Транзисторные системы зажигания принято подразделять на две группы: контактно-транзисторные (КТСЗ) и бесконтактно-транзисторные (БТСЗ).

В контактно-транзисторной системе зажигания контактная пара прерывателя в первичной цепи катушки зажигания отсутствует и заменена транзисторным ключом. Но сам транзисторный ключ управляется по базе контактной парой механического прерывателя прежней конструкции (см. рис. 1.8, а). Это позволило уменьшить ток разрыва в контактной паре и за счет усиления в транзисторе увеличить ток разрыва в индуктивном накопителе (в первичной обмотке катушки зажигания). При этом коэффициент запаса по вторичному (выходному) напряжению увеличился. Эксплуатационная надежность системы зажигания стала несколько выше. Наряду с контактно-транзисторными системами зажигания были разработаны также и контактно-тиристорные системы с емкостным накопителем (см. рис. 1.8, в), которые не нашли широкого практического применения.

Бесконтактно-транзисторная система зажигания (БТСЗ) — это первая система с чисто электронным устройством управления первичным током катушки зажигания и с бесконтактным электроимпульсным датчиком момента зажигания, который, как и контактная пара в классическом прерывателе-распределителе, расположен на подвижной площадке приводного валика механического высоковольтного распределителя (см. рис. 1.8, б). Положение подвижной площадки относительно оси приводного валика (угол разворота) может регулироваться аппаратами опережения зажигания (центробежным и вакуумным). Подвижная площадка и установленный на ней активатор бесконтактного датчика представляют собой электромеханическое устройство управления моментом зажигания. Такое устройство управления в совокупности с высоковольтным распределителем образуют так называемый датчик-распределитель.

Электронное устройство управления первичным током в БТСЗ конструктивно выполнено в виде отдельного блока, который называется коммутатором. По выходу коммутатор соединен с катушкой зажигания, а по входу — управляется электроимпульсным входным датчиком на распределителе.

Таким образом, бесконтактно-транзисторная система зажигания (рис. 9.1) — это совокупность электронного коммутатора К, датчика-распределителя РР, катушки зажигания КЗ и традиционной выходной исполнительной периферии: высоковольтных проводов ВВП и свечей зажигания 1...4.

Бесконтактно-транзисторные системы зажигания (БТСЗ) стали устанавливаться на легковых автомобилях в конце 60-х годов и с тех пор постоянно совершенствовались.

В качестве бесконтактных входных датчиков с механическим приводом от распредвала ДВС были испытаны магнитоэлектрические, индукционные, электромагнитные генераторные, параметрические, оптоэлектронные и прочие преобразователи механического вращения в электрический сигнал (рис. 9.2). Бесконтактный датчик выполняет в системе зажигания следующие функции: задает установочный угол* опережения зажигания; управляет моментом зажи-

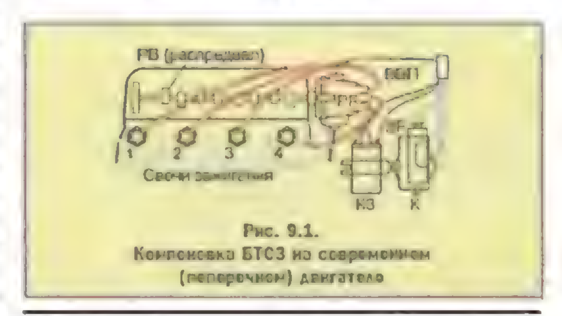


Рис. 9.1.
Компоновка БТСЗ на современном (поперечном) двигателе

*Установочным называется угол опережения зажигания на предельно низких (холостых) оборотах двигателя, когда центробежный и вакуумный регуляторы еще не работают. Называется также начальным углом зажигания.

гания при изменении частоты вращения и нагрузки двигателя; определяет тактность работы ДВС. По совокупности перечисленных функций бесконтактный датчик выдает на вход коммутатора сигнал S, фиксирующий оптимальную величину текущего значения угла опережения зажигания для различных режимов работы двигателя.

Вначале, как более простой и достаточно надежный, широкое практическое применение получил магнитоэлектрический датчик. Но с разработкой активатора на эффекте Холла последний стал основным элементом для всех последующих бесконтактных датчиков электронных систем зажигания.

Не менее значительной модернизации подвергались электронные коммутаторы БТСЗ. От тиристорных коммутаторов быстро отказались, так как система зажигания с емкостным накопителем выдает на свечи очень короткий импульс высокого напряжения (не более 250...300 мкс), что неприемлемо для большинства современных бензиновых автомобильных двигателей.

Первые простейшие транзисторные коммутаторы работали без ограничения амплитуды первичного тока, т.е. в режиме постоянной скважности импульсов зарядного тока для индуктивного накопителя (отечественный коммутатор 13.3734).

В системах зажигания с такими коммутаторами амплитуда высоковольтного импульса на вторичной обмотке катушки зажигания, как и в контактной системе, зависит от частоты вращения двигателя, а также от напряжения в бортсети автомобиля.

На смену коммутаторам с постоянной скважностью (КПС) пришли коммутаторы с нормируемой скважностью (КНС), в которых ток заряда индуктивного накопителя поддерживается в заданных пределах ограничения путем управляемого насыщения выходного транзистора. Это защищает выходной транзистор коммутатора от перегрузки по току, а также стабилизирует амплитуду тока заряда при изменении

Рис. 9.2.
Разновидности бесконтактных входных датчиков для БТСЗ:
а — контактный датчик (контактная пара) прерывателя распределителя батарейной, контактно-транзисторной и контактно-тиристорной систем зажигания. Формирует момент зажигания размыканием контактов (кулачком К). Недостатки — нестабильность сигнала, малая наработка на отказ;
б — магнитоэлектрический датчик частоты вращения ДВС. Работает по принципу генерирования одиночного импульса в момент замыкания магнитного потока Ф ферромагнитным ротором R через магнитопровод обмотки W датчика. Недостатки — невозможность получения стабильного сигнала на низких оборотах ротора;
в — ферровезистивный датчик. Работает по принципу изменения электрического сопротивления в ферровезисторе В при изменении магнитного потока Ф от постоянного магнита. Недостатки — зависимость сигнала от температуры;
г — датчик Холла. Наиболее распространенный датчик частоты вращения ДВС в современных ЭСЗ. Работает по принципу прерывания магнитного потока Ф от постоянного магнита NS ферромагнитным аттенюатором А. Недостатки — сложная технология изготовления. Преимущества — стабильность параметров сигнала при любой частоте вращения ДВС;
д — электрогенераторный датчик частоты вращения ДВС. Работает по принципу прерывания электромагнитного высокочастотного поля металлическим экраном Э. Недостатки — сложность схемы. Преимущества — цифровой счет скорости вращения ДВС.
е — фотоэлектрический датчик частоты вращения ДВС. Работает по принципу прерывания светового потока С оптическим аттенюатором В. Недостатки — возможность загрязнения и перегорания лампы L (низкая надежность). Преимущество — простота;
ж — оптоэлектронный датчик. Работает по принципу прерывания светового потока С между элементами оптопары (световой диод и фототранзистор). Недостатки — загрязнение оптического канала. Преимущества — возможность применения частотной модуляции светового потока;
к — генераторный датчик с частотной модуляцией. Работает по принципу срыва автоколебаний генератора. Недостатки — сложность. Преимущества — независимость амплитуды сигнала от частоты вращения ротора 4.

напряжения в бортсети. Выходное напряжение U_2 при этом также стабилизируется.

Но ограничение тока мощного транзистора насыщением приводит к значительному выделению тепловой энергии на коллекторно-эмиттерном переходе и, как следствие, к низкой функциональной надежности системы зажигания в целом.

Исключить этот недостаток в коммутаторах с нормируемой скважностью можно введением в схему электронного регулятора времени накопления энергии (времени протекания тока заряда через индуктивный накопитель). Так появились коммутаторы с программным регулятором времени накопления (коммутатор 36.3734), а вслед за ними и более совершенные коммутаторы с адаптивным регулированием (коммутатор 3620.3734). Последние, помимо основной функции регулирования времени, обеспечивают более высокую точность поддержания параметров тока заряда при воздействии на систему зажигания различных дестабилизирующих факторов (неустойчивая работа двигателя, окружающая среда, старение и уход номиналов радиоэлементов и пр.).

● Электронные коммутаторы БТСЗ исключительно разнообразны не только по схемотехническому, но и по технологическому исполнению. Электронные схемы коммутаторов, первоначально аналоговые и на дискретных радиоэлементах, были вытеснены интегральными микросхемами с цифровым принципом действия. Стали появляться коммутаторы на так называемых заказных (специально разработанных для АСЗ) больших интегральных и монокристальных схемах.

Известно более 30-ти разновидностей бесконтактных систем зажигания с электронными коммутаторами, серийно выпускаемых за рубежом. Из отечественных транзисторных коммутаторов наиболее распространены одноканальные 36.3734 и 3620.3734, а также двухканальный 6420.3734 [2].

● В качестве примера схемной реализации бесконтактно-транзисторной системы зажигания рассмотрим один из вариантов ее принципиальной электрической схемы (рис. 9.3).



Рис. 9.3.
Принципиальная электрическая схема бесконтактно-транзисторной системы зажигания

Выходной каскад ВК, помимо традиционной катушки зажигания и транзисторного ключа VT3, содержит ряд дополнительных элементов. VD1 — диод для защиты транзисторного ключа VT3 от обратного прохождения тока (от инверсного включения) во время емкостной фазы разряда, когда имеет место обратная полуволна напряжения в первичной обмотке катушки зажигания (инверсное включение VT3 образуется и при случайном обратном включении аккумуляторной батареи). VD2 — стабилизирующий диод для ограничения величины падения напряжения на участке эмиттер-коллектор закрытого (разомкнутого) транзистора VT3 (защита от перенапряжения). Конденсатор C1 с первичной обмоткой катушки зажигания образует последовательный колебательный контур ударного возбуждения, что увеличивает скорость нарастания выходного напряжения системы зажигания. Резистор R3 ограничивает ток разряда конденсатора C1 через открытый (замкнутый) ключ VT3. Для того чтобы ключ VT3 работал стабильно, т.е. при включении и выключении обеспечивал крутые фронты и постоянство амплитуды импульса первичного тока в катушке зажигания, управляющий (базовый) импульс тока транзистора VT3 должен быть с крутыми фронтами и достаточно большим по амплитуде для глубокого насыщения транзистора. На формирование управляющего импульса тока работает предварительный усилитель-ограничитель на транзисторе VT1 и стабилизирующий транзистор обратной связи VT2.

Перечисленные элементы составляют электрическую схему коммутатора ТСЗ.

● Датчик-распределитель содержит механическое устройство управления моментом зажигания, в которое входят магнитная система М датчика Холла с индукцией поля В, активатор ЭХ датчика Холла, усилитель-ограничитель УО, триггер Шмитта ТШ, разделительный транзистор VT и стабилизатор напряжения СТ.

В датчик-распределитель входят также центробежный (ЦБР) и вакуумный (ВР) регуляторы, магнитный аттенюатор А датчика Холла и собственно сам ротационный высоковольтный распределитель РР. Следует отметить, что электронный коммутатор в БТСЗ является лишь формирователем формы импульса тока в первичной обмотке катушки зажигания, а значит, и скорости нарастания вторичного напряжения U_2, но к формированию момента зажигания коммутатор прямого отношения не имеет. Момент зажигания в БСЗ, как и в контактных системах, формируется электромеханическим устройством управления — бесконтактным датчиком на распределителе. Это обстоятельство является принципиальным недостатком всех бесконтактно-электронных систем зажигания. Второй недостаток — наличие в системе ротационного высоковольтного распределителя. Дальнейшее совершенствование автомобильных систем зажигания шло по пути устранения этих недостатков.

9.2. Электронные и микропроцессорные системы зажигания

Рассмотренные выше системы зажигания (КТСЗ, БТСЗ) в настоящее время имеют ограниченное применение, а на импортных легковых автомобилях высокого потребительского класса, начиная с середины 90-х годов, вообще не используются. Им на смену пришли системы зажигания четвертого поколения — это системы с электронно-вычислительными устройствами управления и без высоковольтного распределителя энергии по свечам в выходном каскаде. Такие системы принято подразделять на электронно-вычислительные или просто на электронные (ЭСЗ) и микропроцессорные (МСЗ). Электронные и микропроцессорные системы зажигания имеют три принципиальных отличия от предшествующих систем:

1. Их устройства управления (УУ) являются электронно-вычислительными блоками дискретного принципа действия, выполнены с применением микроэлектронной технологии (на универсальных или на больших интегральных микросхемах) и предназначены для автоматического управления моментом зажигания. Эти устройства называются контроллерами.

2. Применение микроэлектронной технологии, помимо получения преимуществ по надежности, позволяет значительно расширить функции электронного управления. Стало возможным внедрение в автомобильную систему зажигания бортовой самодиагностики и принципов схемотехнического резервирования.

3. Выходные каскады этих систем в подавляющем большинстве случаев многоканальные и, как следствие, не содержат высоковольтного распределителя зажигания.

● Электронные и микропроцессорные системы зажигания отличаются друг от друга способами формирования основного сигнала зажигания, т.е. того сигнала, который от ЭБУ подается на спусковое устройство накопителя.

В ЭСЗ основной сигнал зажигания формируется с применением время-импульсного способа преобразования информации от входных датчиков. Это когда контролируемый процесс задается временем его протекания, с последующим преобразованием времени в длительность электрического импульса. Таким образом, в ЭСЗ контроллер содержит электронный хронометр и управляется аналоговыми сигналами. Компонентный состав современной ЭСЗ показан на рис. 9.4.

В МСЗ, структурная схема которой показана на рис. 9.5, для формирования сигнала зажигания применяется число-импульсное преобразование, при котором параметр процесса задается не временем протекания, а непосредственно числом электрических импульсов.

Функции электронного вычислителя здесь выполняет число-импульсный микропроцессор, который работает от электрических импульсов, стабилизированных по амплитуде и длительности (от цифровых сигналов). Поэтому между микропроцессором и входными датчиками в ЭБУ МСЗ устанавливаются число-импульсные преобразователи аналоговых сигналов в цифровые (ЧИПы).

В отличие от электронной, микропроцессорная система зажигания работает по заранее заданной для данного двигателя внутреннего сгорания программе управления. Поэтому в вычислителе микропроцессорной системы зажигания имеется электронная память (постоянная и оперативная).

● Программа управления для конкретной конструкции двигателя определяется экспериментально, в процессе его разработки. На испытательном стенде имитируются все возможные режимы двигателя при всех

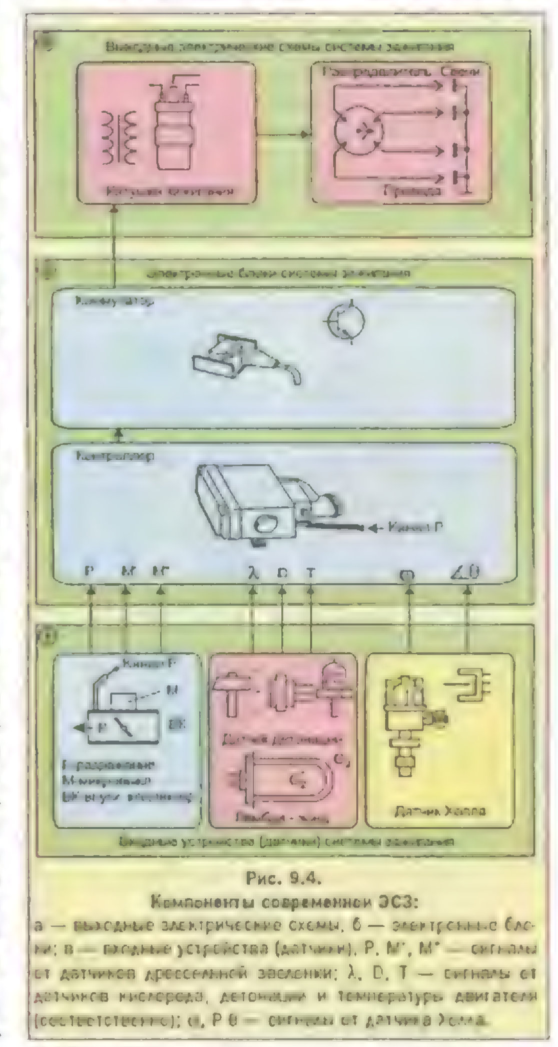


Рис. 9.4.
Компоненты современной ЭСЗ:
а — выходные электрические схемы, б — электронные блоки; в — входные устройства (датчики). P, M', M" — сигналы от датчиков дроссельной заслонки; λ, D, T — сигналы от датчиков кислорода, детонации и температуры двигателя (соответственно); ω, P θ — сигналы от датчика Холла.

возможных условиях его работы. Для каждой экспериментальной точки подбирается и регистрируется оптимальный угол опережения зажигания. Получается набор многочисленных значений угла для момента зажигания, каждое из которых отвечает строго определенной совокупности сигналов от входных датчиков. Графическое изображение такого множества представляет собой трехмерную характеристику зажигания, которая в виде матрицы показана на рис. 9.6. Координаты трехмерной характеристики "зашиваются" в постоянную память микропроцессора и в дальнейшем служат опорной информацией для определения угла опережения зажигания в реальных условиях эксплуатации двигателя на автомобиле. Изменение опорного (взятого из памяти) угла θ опережения зажигания осуществляется автоматически. Увеличение угла θ происходит при повышении оборотов, при уменьшении нагрузки и при понижении температуры ДВС. Уменьшение угла θ имеет место при увеличении нагрузки, при падении оборотов и при повышении температуры ДВС.

Если в МСЗ помимо основных датчиков используются дополнительные (например, датчик детонации в цилиндрах ДВС), то в микропроцессоре осуществляется коррекция опорного значения угла опережения зажигания по сигналам этих датчиков. При этом корректировка производится по каждому цилиндру в отдельности.

- Электронные блоки управления для ЭСЗ и МСЗ, помимо функциональных и схемотехнических, имеют и принципиальные конструктивные различия.

В ЭСЗ блок управления является самостоятельным конструктивным узлом и называется контроллером (рис. 9.7). На входы контроллера подаются сигналы от входных датчиков системы зажигания, а по выходу — контроллер работает на электронный коммутатор выходного каскада (см. рис. 9.4). Все электронные схемы контроллера низкоуровневые (потенциальные), что позволяет включать их в состав других бортовых электронных блоков управления (например, в ЭБУ системы впрыска топлива).

В МСЗ все функции управления интегрированы в центральный бортовой компьютер автомобиля и персональный блок управления для системы зажигания может отсутствовать. Функции входных датчиков МСЗ выполняют универсальные датчики комплексной системы автоматического управления двигателем. Основной сигнал зажигания подается на электронный коммутатор выходного каскада МСЗ непосредственно от центрального бортового компьютера.

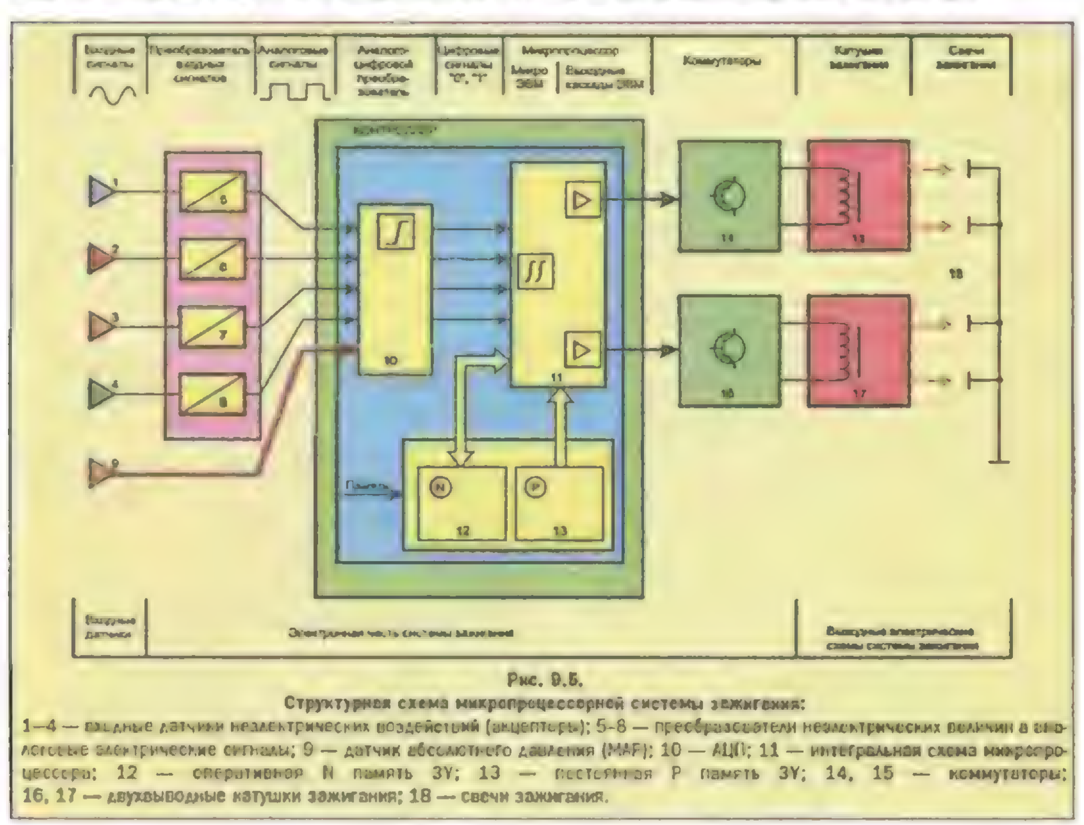


Рис. 9.5.

Структурная схема микропроцессорной системы зажигания:

1–4 — входные датчики неэлектрических воздействий (акцепторы); 5–8 — преобразователи неэлектрических величин в аналоговые электрические сигналы; 9 — датчик абсолютного давления (MAF); 10 — АЦП; 11 — интегральная схема микропроцессора; 12 — оперативная N память ЗУ; 13 — постоянная P память ЗУ; 14, 15 — коммутаторы; 16, 17 — двухвыводные катушки зажигания; 18 — свечи зажигания.



Рис. 9.6.
Матричная диаграмма трехмерной характеристики зажигания: по сигналам n и p определяется соответствующее значение величины угла θ опережения зажигания (например, число 33° на диаграмме)

● Несмотря на значительные различия электронных и микропроцессорных систем зажигания, по устройствам управления выходные каскады этих систем имеют идентичное схемотехническое и конструктивное исполнение, при котором каждая свеча зажигания на многоцилиндровом ДВС получает энергию для искрообразования по отдельному каналу. Такое распределение называется статическим или многоканальным.

Что это дает автомобильной системе зажигания?

Надо вспомнить, что кроме обычных недостатков механического переключателя (низкая надежность и малая наработка на отказ вращающихся и трущихся частей) классический распределитель зажигания имеет и тот, что в нем реализуется коммутация высоковольтной энергии через электрическую искру. Это, помимо дополнительных потерь энергии, приводит к неравномерному выгоранию контактов в изоляционной крышке распределителя и, как следствие, к явлению разброса искр по цилиндрам и к низкой функциональной надежности системы зажигания. Разброс искр между выводами даже исправного механического распределителя может достигать 2...3 угловых градусов по повороту коленвала ДВС.

Ясно, что в электронных и особенно в микропроцессорных системах зажигания, высоконадежных и высокоточных в функциональном отношении, формирование момента зажигания в которых реализуется с точностью 0,3...0,5° для каждого цилиндра в отдельности, применение высоковольтного механического распределителя совершенно недопустимо. Здесь приемлемы электронные способы переключения каналов на низкопотенциальном уровне непосредственно в электронном блоке управления с дальнейшим статическим разделением каналов по высокому напряжению на многовыводных или индивидуальных катушках зажигания. Это неизбежно приводит к многоканальности выходного каскада системы зажигания.



Рис. 9.7.
Внешний вид контроллера электронной системы зажигания

9.3. Выходные каскады с многовыводными катушками зажигания

Реализация многоканального распределения энергии может быть осуществлена в системах зажигания несколькими способами. Наиболее простой из них — применение двухвыводного высоковольтного выходного трансформатора или двухвыводной катушки зажигания в выходном каскаде. Такой способ разделения каналов приемлем для реализации в системе зажигания с любым типом накопителя.

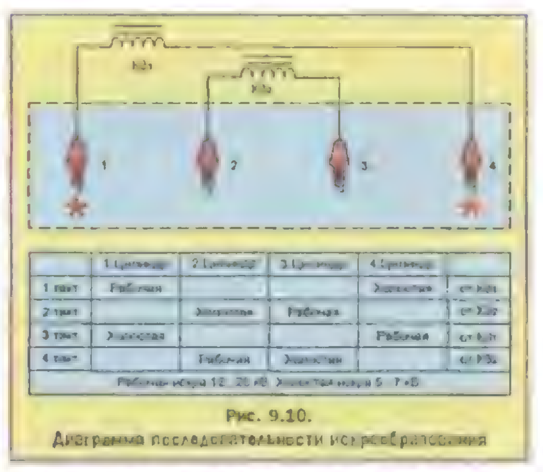
Откуда пришла такая идея? Известно, что в системе зажигания, на выходе которой установлен высоковольтный распределитель, во время разряда накопителя имеют место две искры: одна основная (рабочая) в свече зажигания и другая вспомогательная — между бегунком распределителя и контактом одного из его свечных выводов. Вторичная обмотка выходного трансформатора (катушки зажигания) высоковольт-



Рис. 9.8.
Соединения свечей зажигания с двухвыводной катушкой

ным выводом соединена с центральным бегунком распределителя, а другой вывод обмотки является нулевым, так как во время разряда накопителя соединяется с "массой" автомобиля (см. рис. 9.3). Энергия вспомогательной искры в распределителе тратится бесполезно, и эту искру стремятся всячески подавить. Отсюда ясно, что вспомогательную искру из-под крышки распределителя можно перенести во вторую свечу зажигания, соединив ее с первой через "массу" головки блока цилиндров последовательно. Для этого достаточно исключить распределитель из выходного каскада, отсоединить от "массы" автомобиля заземляемый вывод катушки зажигания и подключить к нему вторую электроискровую свечу (рис. 9.8).

При одновременном искрообразовании в двух свечах зажигания одна искра является высоковольтной (12...20 кВ) и воспламеняет топливовоздушную смесь в конце такта сжатия (рабочая искра). При этом другая искра низковольтная (5...7 кВ), холостая. Явление перераспределения высокого напряжения от общей вторичной обмотки между искровыми промежутками в двух свечах зажигания есть следствие глубоких различий условий, при которых происходит искрообразование. В конце такта сжатия незадолго до появления рабочей искры температура топливовоздушного заряда еще недостаточно высокая (200...300°С), а давление, наоборот — значительное (10...12 атм). В таких условиях пробивное напряжение между электродами свечи — максимально. В конце такта выпуска, когда имеет место искрообразование в среде отработавших газов, пробивное напряжение минимально, так как температура выхлопных газов высокая (800...1000°С), а давление низкое (2...3 атм). Таким образом, при статическом распределении высокого напряжения с помощью двухвыводной катушки зажигания (на двух последовательно соединенных свечах — одновременно) почти вся энергия высоковольтного электроискрового разряда приходится на рабочую искру.



	1 цилиндр	2 цилиндр	3 цилиндр	4 цилиндр	
1 такт	Рабочая			Холостая	[illegible]
2 такт		Холостая	Рабочая		[illegible]
3 такт	Холостая			Рабочая	[illegible]
4 такт		Рабочая	Холостая		[illegible]
Рабочая искра 12...20 кВ. Холостая искра 5...7 кВ					

Рис. 9.10.
Диаграмма последовательности искрообразования

● Впервые двухвыводная катушка была применена в контактной батарейной системе зажигания для двухцилиндрового 4-х тактного двигателя. Примером может служить система зажигания для двигателя польского автомобиля ФИАТ-126Р (рис. 9.9). Аналогичная по принципу действия система зажигания установлена на отечественном автомобиле ОКА (с электронным управлением).

Если в ДВС четыре цилиндра, потребуются две двухвыводные катушки зажигания и два раздельных энергетических канала коммутации в выходном каскаде (см. рис. 9.5). На рис. 9.10 приведена диаграмма последовательности искрообразования в цилиндрах 4-х цилиндрового четырехтактного двигателя, оснащенного системой зажигания с двумя двухвыводными катушками зажигания. Для шестицилиндрового двигателя потребуются три двухвыводные катушки зажигания и три энергетических канала.

● В настоящее время разработан ряд автомобильных систем зажигания, в которых две двухвыводные катушки зажигания собираются на общем Ш-образном магнитопроводе и тем самым образуется одна 4-выводная катушка зажигания (например, для автомобиля ВАЗ-2110). Такая катушка имеет две первичные и две вторичные обмотки и управляется от двухканального коммутатора. Четырехвыводная катушка зажигания может иметь и одну вторичную двухвыводную обмотку при двух первичных. Вторичная обмотка такой катушки дооборудована четырьмя высоковольтными диодами — по два на каждый высоковольтный вывод (см. далее главу 11).

● Недостатком любой системы зажигания с двухвыводными катушками является то, что в одной свече искра развивается от центрального электрода к

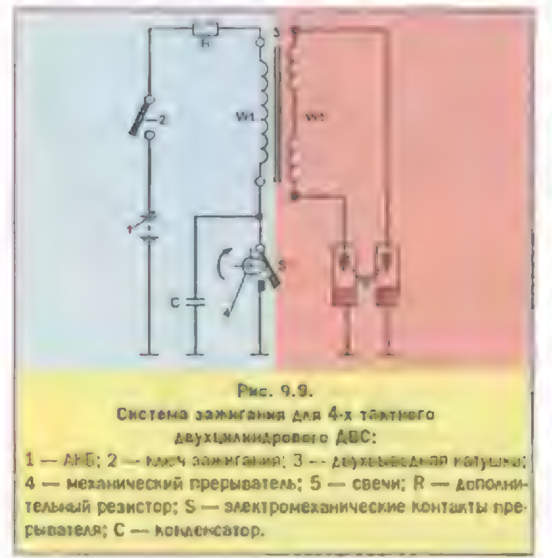


Рис. 9.9.
Система зажигания для 4-х тактного двухцилиндрового ДВС:
1 — АКБ; 2 — ключ зажигания; 3 — двухвыводная катушка; 4 — механический прерыватель; 5 — свечи; R — дополнительный резистор; S — электромеханические контакты прерывателя; C — конденсатор.

массовому (боковому), а во второй свече — в обратном направлении (см. рис. 9.8). Так как центральный электрод заострен и всегда значительно горячее бокового, то истечение носителей заряда с его острия при искрообразовании требует затраты меньшего количества энергии, чем при истечении с бокового электрода (на центральном электроде начинает проявляться термоэлектронная эмиссия). Это приводит к тому, что пробивное напряжение на свече, работающей в прямом направлении, становится несколько ниже (на 1,5...2 кВ), чем на свече с обратным включением полярности. Для современных электронных и микропроцессорных систем зажигания с большим коэффициентом запаса по вторичному напряжению и с управляемым временем накопления энергии это не имеет принципиального значения.

9.4. Выходные каскады с индивидуальным статическим распределением

В современных электронных и микропроцессорных системах зажигания широко используются выходные каскады с индивидуальными катушками зажигания для каждой свечи в отдельности. Примером может служить система зажигания фирмы BOSCH, интегрированная в электронную систему автоматического управления (ЭСАУ) двигателем, которая известна под названием Motronic.

На рис. 9.11 показана функциональная схема ЭСАУ Motronic M-3,2, которая устанавливается на четырехцилиндровых двигателях автомобилей AUDI-A4 (выпуск после 1995 года).

В контроллере J220 имеется микропроцессор с блоком памяти, в котором хранится трехмерная характеристика зажигания (см. рис. 9.6). По этой характеристике, а также по сигналам датчика ДО G-28 (датчик частоты вращения двигателя) и датчика ДН G-69 (датчик нагрузки двигателя) устанавливается начальный угол $\theta = f(n)$ опережения зажигания. Далее по сигналам датчиков ДХ G-40, ДТ G-62 и ДД G-66 в цифровом микропроцессоре производится вычисление текущего (необходимого для данного режима работы ДВС) значения угла опережения зажигания, который с помощью электронной схемы переключения каналов подается в виде основного импульса S зажигания в соответствующий канал электронного коммутатора К-122. К этому времени в этом канале индуктивный накопитель N находится в заряженном (от бортсети +12 В) состоянии и по сигналу S разряжается на соответствующую свечу зажигания. Через 180° поворота коленвала описанные процессы будут иметь место в следующем (по порядку работы двигателя) канале коммутатора.

Основные преимущества системы зажигания, интегрированной в ЭСАУ Motronic, состоят в следующем:

— индивидуальное статическое распределение высокого напряжения по свечам зажигания;

— катушки зажигания с заземленной вторичной обмоткой;

— все входные датчики (датчик Холла, датчик частоты вращения ДВС, датчик температуры ДВС, датчики дроссельной заслонки, датчик детонации) — это формирователи электрических сигналов из неэлектрических воздействий бесконтактного принципа действия. Аналоговые сигналы от этих датчиков преобразуются в контроллере в цифровые сигналы;

— селективная коррекция угла опережения зажигания по детонации (в каждом цилиндре в отдельности);

— отключение цилиндров ДВС при перебоях в искрообразовании (защита дорогостоящих компонен-

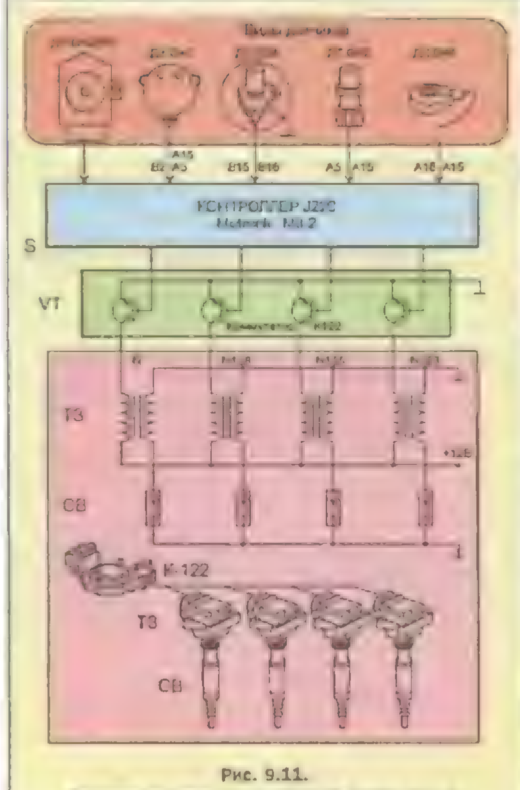


Рис. 9.11.
Функциональная схема ЭСАУ Motronic M-3.2:
ДН — датчик нагрузки ДВС (дроссельный потенциометр); ДХ — датчик угла опережения зажигания (датчик Холла); ДО — датчик частоты вращения (магнитоэлектрический датчик на коленвалу); ДТ — датчик температуры двигателя (термистор); ДД — датчик детонации (пьезоэлектрический); S — сигнал зажигания, поочередно подаваемый на входы коммутатора; А, В — контакты соединительного разъема; VT — силовые транзисторы коммутатора; N — индуктивные накопители; ТЗ — трансформаторы зажигания; СВ — свечи зажигания.

тов — кислородного датчика и каталитического газонейтрвлизатора экологической системы автомобиля от повреждений);

— наличие в контроллере функций самодиагностики и резервирования.

9.5. Выходной каскад с управляемым трансформатором зажигания

Известны попытки применить в многоканальном выходном каскаде автомобильной системы зажигания высоковольтный трансформатор с насыщающимися сердечниками.

Если магнитопровод трансформатора ввести в режим насыщения, то его коэффициент трансформации резко падает и энергия из первичной обмотки во вторичную не трансформируется.

Электрическая схема выходного каскада с трансформатором насыщения показана на рис. 9.12. Выходной трансформатор имеет два магнитопровода — M_1 и M_2, охваченных общей первичной обмоткой W_1. Каждый магнитопровод оснащен отдельной обмоткой управления (W_B' и W_B'') и отдельной двухвыводной вторичной обмоткой (W_2' и W_2'').

Когда по управляющей обмотке W_B' протекает ток, достаточный для насыщения сердечника M_1, а обмотка W_B'' обесточена, то высокое напряжение будет наводиться только во вторичной обмотке W_2''. Если обесточить управляющую обмотку W_B' и пропустить ток насыщения по обмотке W_B'', то насытится сердечник M_2 и высокое напряжение будет трансформировано только в обмотку W_2'.

Система зажигания с трансформатором насыщения обладает высокой надежностью, малыми габаритами и весом, но ее промышленный выпуск пока не реализован из-за значительных технических трудностей изготовления (для трансформатора насыщения требуются тороидальные сердечники из высококачественного пермалоя. Намотка многовитковых обмоток на такие сердечники крайне затруднена).



Рис. 9.12.
Выходной каскад СЗ с трансформатором насыщения

9.6. Высоковольтные провода

В системах зажиганиях с высоковольтным механическим распределителем длина высоковольтных проводов всегда значительна (20...60 см). И так как по проводам в момент электроискрового разряда в свечах протекает высокочастотный ток высокого напряжения, то длинные провода излучают радиопомехи. Источниками радиопомех являются также свечи зажигания и распределитель. Есть три способа подавления радиопомех от АСЗ: экранизация высоковольтных проводов, свечей, катушки зажигания и высоковольтного распределителя; введение в центральный токовод высоковольтного провода распределенной индуктивности и распределенного сопротивления; установка помехоподавительного резистора непосредственно в изолятор свечи зажигания.

Экранизация требует увеличения запаса по вторичному напряжению и делает выходной каскад АСЗ громоздким. Высоковольтный провод с распределенными параметрами имеет недостаточно высокую конструктивную надежность, сложную технологию изготовления и высокую стоимость.

В современных системах зажигания применяют свечи с помехоподавительным резистором 4...10 кОм, а длину высоковольтных проводов стремятся свести к минимуму. Последнее становится возможным благодаря применению индивидуальных катушек зажигания, установленных непосредственно на свечах (см. рис. 9.11).

Высоковольтные провода подразделяют на низкоомные (до 0,5 Ом/м — в устаревших конструкциях проводов) и высокоомные (1...10 кОм/м). Провода маркируются двумя способвми: цветом и текстовой надписью вдоль провода.

Отечественные провода светло-коричневой или пестрой расцветки — низкоомные. Провода красного или розового цвета ПВВП-8 обладают распределенным сопротивлением 2000±200 Ом/м; синего цвета ПВППВ-40 — 2550±250 Ом/м. На высоковольтных проводах импортного производства электрические параметры чаще обозначаются текстом вдоль провода. Содержание текста можно расшифровать по фирменному каталогу.

Любой из трех указанных способов подавления радиопомех приводит к некоторому падению высоковольтного выходного напряжения системы зажигания, что иногда сказывается при пуске холодного двигателя в слякотную зимнюю погоду, когда провода покрываются тонким инеем. Чтобы устранить этот недостаток, в современных микропроцессорных системах зажигания стали применять грязевлагозащиту высоковольтных проводов и свечей зажигания (укрытие проводов в изоляционную трубку или под пластмассовую крышку вместе со свечами).

● В заключение следует отметить, что принципы построения электронных схем для электроискровых систем зажигания надолго останутся такими же, как и в современных микропроцессорных системах.

АВТОМОБИЛЬНЫЕ СВЕЧИ ЗАЖИГАНИЯ

Электроискровая свеча является важнейшим компонентом любой современной автомобильной системы зажигания. От совершенства ее конструкции и правильного подбора в значительной степени зависит надежность работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС) с принудительным воспламенением топливовоздушной рабочей смеси. По принципу работы различают свечи с искровым воздушным зазором, со скользящей искрой, полупроводниковые, эрозийные и комбинированные. При любом исполнении свеча зажигания является быстродействующим искровым запалом топливовоздушной смеси в цилиндрах ДВС. Наибольшее распространение на автомобильных двигателях получили искровые свечи с воздушным зазором, что объясняется их высокой надежностью, простотой конструкции и технологичностью изготовления. Такие свечи рассматриваются в данной главе.

10.1. Особенности электроискрового разряда

Для образования искры в свече зажигания с воздушным зазором на ее электроды подается высокое напряжение, источником которого на современных легковых автомобилях является индуктивный накопитель энергии — катушка зажигания. Как только разность потенциалов на электродах свечи достигает значения пробивного напряжения, между электродами происходит электроискровой разряд.

Пробивное напряжение зависит от параметров самой свечи (материал и форма электродов, величина воздушного зазора между электродами, полярность центрального электрода), от параметров, характеризующих условия воспламенения рабочей смеси в камере сгорания (давление в момент пробоя искрового промежутка, температура рабочей смеси и электродов, состав и скорость движения смеси в зоне искрового промежутка); пробивное напряжение зависит также от скорости нарастания напряжения на электродах свечи, т.е. от параметров выходного каскада системы зажигания. Величина пробивного напряжения воздушного промежутка в свече зажигания лежит в пределах 8 кВ $\leq U_{пр} \leq$ 12 кВ. Максимальное значение пробивного напряжения характерно для режимов пуска и разгона двигателя, минимальное — для работы на установившихся режимах. Для надежной и бесперебойной работы системы зажигания максимальное напряжение U_{2max}, развиваемое катушкой зажигания, должно превышать необходимое пробивное напряжение $U_{пр}$ на всех режимах работы двигателя с достаточным запасом: $U_{2max} = 1{,}5\ U_{пр}$. Энергия, запасенная в индуктивном накопителе (в катушке зажигания), выделяется между электродами свечи в виде электрической искры. Электроискровой разряд является источником тепла, а также сильной ионизации и протекает практически мгновенно. Температура канала разряда (ионизированного искрового жгута) радиусом 0,2...0,6 мм превышает 10000°К. Электроискровой разряд энергии, накопленной в катушке зажигания, всегда распадается на две фазы: емкостную и индуктивную (рис. 10.1).

После того как ток I_1 в первичной (накопительной) обмотке катушки зажигания прерывается, начинает быстро исчезать магнитное поле, накопленное вокруг первичной обмотки за время протекания по ней первичного тока. При этом напряжение U_2 на вторичной обмотке, а значит, и на электродах свечи зажигания, возрастает. Когда напряжение U_2 становится равным пробивному ($U_{пр}$), между электродами свечи происходит электроискровой разряд. В начале разряда будет иметь место емкостная фаза (участок а...б), а затем индуктивная (участок б...в).

Емкостная фаза представляет собой разряд энергии, накопленной к моменту пробоя в электрических



Рис. 10.1.
Изменение напряжения между электродами свечи зажигания во время электроискрового разряда:
1 — максимальное значение напряжения на вторичной обмотке катушки зажигания — $U_{2max} = 1.5\ U_{пр}$; 2 — пробивное напряжение $U_{пр}$, при котором возникает электрическая искра (масштаб U_{2max} и $U_{пр}$ — уменьшен); 3 — напряжение $U_д$ электрической дуги тлеющего разряда при индуктивной фазе разряда; а...б — емкостная фаза разряда; б...в — индуктивная фаза разряда.

полях системы зажигания. Эти поля образуются в сосредоточенной емкости первичной и распределенной емкости вторичной цепи выходного каскада системы зажигания. Поскольку искровой промежуток сильно ионизирован и его сопротивление мало, ток емкостной фазы может достигать нескольких десятков и даже сотен ампер, однако длительность этой фазы незначительна — 1...3 мкс.

Индуктивная фаза разряда следует сразу вслед за емкостной и представляет собой тлеющий разряд в догорающих газах той части энергии магнитного поля катушки зажигания, которая осталась в ней после завершения емкостной фазы разряда. Продолжительность индуктивной фазы значительно больше емкостной и достигает нескольких миллисекунд, но ток тлеющего разряда не превышает десятков миллиампер. Для систем зажигания с индуктивным накопителем энергия емкостной фазы находится в пределах 5...15 мДж, а индуктивной фазы — 50...100 мДж.

В нормально работающем двигателе рабочая смесь в камере сгорания воспламеняется во время емкостной фазы разряда, когда температура в искровом промежутке свечи зажигания достигает максимальных значений (10000°К и более). Однако индуктивная фаза играет более значительную роль при догорании топливовоздушной смеси и особенно на низких оборотах и на переходных режимах работы двигателя. В таких условиях индуктивная фаза разряда (длительность, энергия) оказывает более существенное влияние, чем емкостная фаза, на выходные характеристики двигателя (мощность, экономичность, токсичность). Однако емкостная фаза, являясь первичным "поджигателем" топливовоздушной смеси, определяет устойчивость и эффективность работы ДВС, а также является основным средством стабильности и высокоточного управления моментом зажигания в цилиндрах ДВС.

Следует отметить, что емкостная фаза сопровождается высокочастотными колебаниями, которые являются источником радиопомех.

10.2. Устройство автомобильной свечи зажигания

На рис. 10.2 представлена наиболее распространенная конструкция автомобильной свечи зажигания, основными частями которой являются: корпус 7, изолятор 3 и электроды 10, 11.

Корпус свечи имеет внешнюю резьбовую часть 9 и шестигранную головку 6 под свечной ключ. Опорная поверхность корпуса может быть плоской или конусной. В первом случае между головкой блока цилиндров и свечой устанавливается уплотнительное кольцо 8, которое может быть как съемным, так и несъемным. Использование свечей зажигания с конусной опорной поверхностью дает возможность по-

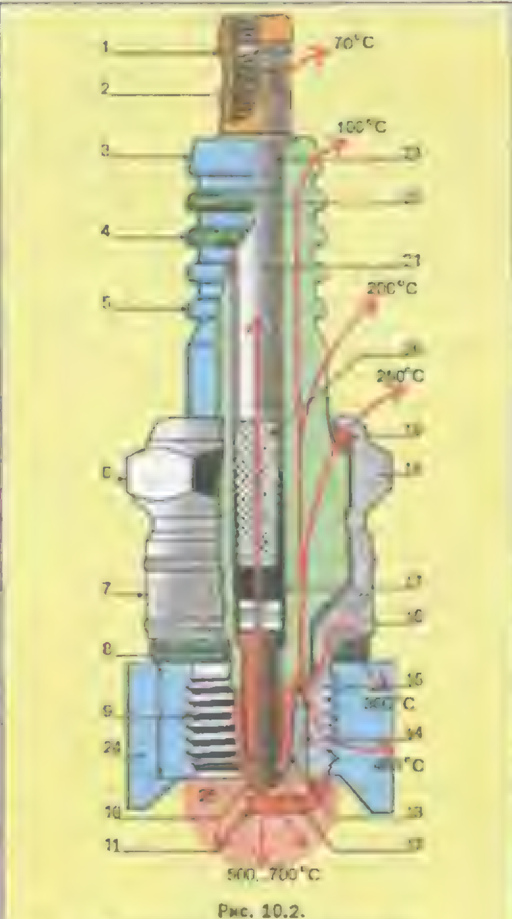


Рис. 10.2.
Электроискровая свеча зажигания:
1 — контактный колпачок; 2 — резьба под колпачок; 3 — керамический изолятор центрального электрода; 4 — фирменная метка; 5 — ребро изолятора; 6 — гайка под свечной ключ; 7 — корпус свечи; 8 — уплотнительное кольцо; 9 — резьба на корпусе и ее длина; 10 — центральный электрод; 11 — боковой (массовый) электрод; 12 — воздушный зазор между центральным электродом и керамическим изолятором; 13 — тепловой конус (юбочка) керамического изолятора; 14 — полость для заполнения горючей смесью; 15, 16 — теплоотводящие и фиксирующие кольца; 17 — теплоотводящий и токопроводящий стеклогерметик; 18 — тело корпуса; 19 — центрирующее теплопроводное кольцо; 20 — ребристая часть центрального электрода (фиксатор); 21 — токопроводящая или резистивная часть контактной головки; 22 — воздушный зазор; 23 — контактная головка; 24 — тело головки блока (крышка цилиндра); красные линии — направления потоков, отводящих тепло от конуса изолятора, 25 — зона первоначального воспламенения

лучить надежную герметизацию при меньшем усилии затяжки свечи и позволяет отказаться от уплотнительного кольца. Такие свечи широко применяются на американских автомобилях.

Внутри корпуса располагается изолятор 3 — важнейший элемент свечи. Материал изолятора свечи должен обладать высокой механической и электрической прочностью, высокой коррозийной стойкостью, большим объемным и поверхностным сопротивлением, быть термостойким, не поглощать воду и иметь высокую удельную теплопроводность. Во многом от свойств материала изолятора зависят качество и характеристики свечи зажигания. В настоящее время изоляторы искровых свечей изготовляются в основном из корундовой керамики с содержанием около 95% оксида алюминия Al_2O_3. В состав керамики также входят минеральные добавки в виде оксидов кремния, кальция, магния, кобальта и ниобия, которые улучшают основные характеристики изолятора и придают керамике голубой цвет.

Герметичность между изолятором и корпусом свечи осуществляется кольцевыми уплотнителями 15, 16, 19. Уплотнительные кольца 15 и 16 улучшают отвод тепла от изолятора через корпус к головке блока цилиндров.

Нижняя часть изолятора 3 является тепловым конусом 13 (иногда называется юбочкой теплового конуса). В некоторых типах свечей тепловой конус изолятора выступает за торец корпуса, что обеспечивает хороший доступ топливовоздушной смеси в искровой промежуток между электродами 10, 11 и лучшее охлаждение нижней части изолятора во время всасывания холодной смеси. Внутри верхней части изолятора расположена контактная головка 23, а в нижней части — центральный электрод. Герметизация центрального электрода и контактной головки в изоляторе осуществляется теплопроводящим стеклогерметиком 17.

Искровой разряд между электродами свечи зажигания является источником радиопомех. Для подавления этих помех между центральным электродом и контактной головкой может быть установлен помехоподавительный резистор, выполненный в виде угольного стержня или специального резистивного герметика. Такие свечи устанавливаются на двигатель с проводами высокого напряжения без помехоподавительных средств. Кроме того, встроенный помехоподавительный резистор способствует уменьшению эрозии электродов.

Материал электродов должен обладать высокой коррозионной и эрозионной стойкостью, жаропрочностью, хорошо проводить тепло. Удовлетворительными свойствами обладают сплавы с большим содержанием никеля и хрома. Кроме того, никель при высоких температурах способствует ионизации искрового промежутка, что несколько снижает пробивное напряжение между электродами свечи. Однако при использовании в топливе антидетонационных добавок (например, тетраэтилсвинца) коррозия электродов из сплава на основе никеля ускоряется. В этом случае лучше себя зарекомендовал сплав на основе хрома. Для большинства свечей зажигания отечественного производства в качестве материала центрального электрода применяются хромотитановая сталь 13Х25Т или нихром Х20Н80. Аналогичные сплавы применяются за рубежом.

Для современных форсированных двигателей применяются свечи, центральный электрод которых выполнен из меди и покрыт никель-хромовой оболочкой. Медный сердечник обеспечивает лучший теплоотвод при больших нагрузках двигателя, а жаропрочная оболочка повышает износоустойчивость электрода.

Для форсированных двигателей спортивных автомобилей свечи зажигания изготовляются с серебряным центральным электродом. Среди металлов серебро обладает самой высокой теплопроводностью, это дает возможность изготовить центральный электрод более тонким, что облегчает доступ горючей смеси к искровому промежутку и тем самым снижается вероятность пропусков воспламенения. Однако свечи с серебряным электродом имеют меньший срок службы.

В современной свече зажигания между ее центральным электродом и изолятором предусмотрен продолговатый воздушный канал 12, наличие которого предотвращает разрушение изолятора из-за расширения центрального электрода. Расширение электрода происходит не только под действием высоких температур в камере сгорания, но и за счет химической реакции между никелем, содержащимся в сплаве электродов, с серой, образующейся при сгорании топлива. В результате высокотемпературной химической реакции образуется сернистый никель, который увеличивает диаметр центрального электрода. Это может привести к повреждению изолятора, если посадка электрода в изоляторе была бы плотной (без зазора). Однако следует заметить, что указанный воздушный канал ухудшает теплоотвод от самой горячей части центрального электрода и это сказывается на тепловой характеристике свечи.

Высокими эксплуатационными свойствами обладают свечи зажигания с платиновым электродом, который спекается непосредственно с керамическим изолятором. В таких свечах воздушный канал 12 не требуется. Благодаря высокой коррозийной и эрозионной стойкости платины центральный электрод делается очень тонким, что обеспечивает хороший доступ горючей смеси в искровой промежуток и гарантирует ее надежное воспламенение. Малые размеры центрального электрода из платины в соче-

тании с заостренной формой бокового электрода, а также каталитическое действие платины, способствуют понижению пробивного напряжения между электродами. Для свечей с платиновым центральным электродом характерны надежное искрообразование в течение всего срока службы и хорошие пусковые свойства. Однако высокая надежность и долговечность таких свечей сочетаются с повышением их стоимости (в 4...5 раз по сравнению с обычными свечами).

Массовый электрод 11 приваривается контактной микросваркой к ободку корпуса свечи. Как у отечественных, так и у зарубежных свечей, массовый электрод изготовляется из никель-марганцевого сплава. Этот сплав надежно сваривается с корпусной сталью свечи.

Эксплуатационные характеристики свечи зажигания улучшаются, если массовый электрод имеет медную вставку по типу центрального электрода. Свечи, у которых медь используется как в центральном, так и в массовом электродах, впервые были выпущены в 1988 г. фирмой "Champion" под маркой "Double Copper".

Для надежного искрообразования в течение всего срока службы и для обеспечения долговечности в свечах устанавливают несколько боковых электродов. Существенное влияние на эксплуатационные параметры свечи и теплопроводность электродов, доступность горючей смеси в искровой промежуток, на износостойкость электродов, пробивное напряжение оказывает форма массовых (боковых) электродов (рис. 10.3).

Наибольшее распространение получил одиночный торцовый массовый электрод 1, однако есть свечи, в которых применяются массовые электроды различной формы: крючкообразный 2, парные сплющенные 3, углубленные боковые 4, кольцевой 5, тангенсальный 6, подковообразный 7, одиночный боковой 8.

От формы электродов зависит вид искрового промежутка и, как следствие, траектория искрового разряда. Форма поперечного сечения электродов может быть различной (круглой, прямоугольной, треугольной и др.). На поверхности массовых электродов могут быть нанесены канавки или они могут иметь осевые отверстия, что способствует самоочищению электродов.



Рис. 10.3.
Разновидности боковых электродов свечи зажигания

Между электродами искровой свечи зажигания устанавливается определенный для данного типа двигателя зазор. Для двигателя современного легкового автомобиля с электронной системой зажигания величина зазора воздушного промежутка между электродами находится в пределах 0,7...1,2 мм. Для двигателей прежних конструкций с классической системой зажигания — 0,5...0,8 мм. При неправильно установленной величине зазора ухудшаются показатели работы автомобильного двигателя, в частности, увеличивается расход топлива и ухудшается экология выхлопных газов. Для современных двигателей, работающих на бедных смесях, требуется увеличенный зазор между электродами свечи. Но с увеличением зазора возрастает пробивное напряжение искрового промежутка, поэтому современная система зажигания имеет более высокий запас по вторичному напряжению, чем исключается вероятность пропусков искрообразования. Если воздушный промежуток между электродами слишком мал, то увеличивается вероятность его "зарастания" нагаром и становятся возможными пропуски зажигания. Это крайне отрицательно сказывается на экономичности двигателя. Так, при одной неработающей свече зажигания в шестицилиндровом двигателе расход топлива увеличивается на 25%.

В тех случаях, когда пропуски зажигания недопустимы (например, на вертолетных ДВС или на двигателях спортивных автомобилей), в каждый цилиндр устанавливают по две свечи зажигания.

10.3. Тепловая характеристика

Электроискровая свеча зажигания на автомобильном двигателе работает в крайне тяжелых условиях, так как подвергается комплексному циклическому воздействию механических, термических и электрических нагрузок, изменяющихся в широких пределах. Кроме того, детали свечи зажигания подвергаются химическим воздействиям со стороны топливовоздушной смеси, а также со стороны продуктов сгорания топлива и моторного масла.

Во время работы двигателя в тепловом отношении свеча подвергается воздействию колебаний температуры газовой среды в камере сгорания от 60 до 3000°С. В результате тепловой конус изолятора и электроды нагреваются до некоторой средней температуры. При неполном сгорании топливовоздушной смеси, а также из-за попадания моторного масла в камеру сгорания на поверхности теплового конуса изолятора образуется токопроводящий нагар, шунтирующий искровой промежуток свечи. Из-за шунтирующего действия нагара, сопротивление которого при работе двигателя может изменяться от

0,5 до 1,0 МОм (в холодном состоянии чистая свеча зажигания имеет сопротивление изолятора 500...10000 МОм), во вторичной цепи системы зажигания появляется ток утечки. Ток утечки еще до пробоя искрового промежутка в свече вызывает падение напряжения во вторичной цепи. В результате напряжение, подводимое к электродам свечи, уменьшается и может оказаться равным или даже меньше пробивного напряжения искрового промежутка. Это приводит к пропускам искрообразования или искра между электродами вообще не возникает. Утечка тока может иметь место и по наружной поверхности изолятора, если она загрязнена или покрыта влагой. Вредное влияние нагара, влаги и загрязнений может быть уменьшено внутри свечи путем увеличения пути для протекания тока утечки, что достигается удлинением теплового конуса, а снаружи — ребрением поверхности изолятора и ее укрытием под грязезащитный колпачок. При нагреве теплового конуса изолятора до температуры 400...500°С нагар на его поверхности отслаивается. Эта температура называется температурой самоочищения свечи. Для быстрого нагрева теплового конуса до температуры самоочищения он должен быть достаточно длинным. С другой стороны, при работе двигателя под полной нагрузкой температура теплового конуса и электродов не должна превышать 850...900°С. Иначе может возникнуть самопроизвольное воспламенение топливовоздушной смеси (калильное зажигание) от сильно разогретых частей свечи зажигания (причиной калийного зажигания часто является нагар не только на свечах, но и на других частях камеры сгорания). Калильное зажигание возникает во время сжатия еще до момента появления искры в свече и характеризуется резким ростом температуры и давления газов в камере сгорания. Процесс сгорания топливовоздушной смеси становится неуправляемым, мощность двигателя падает, а его перегрев может привести к серьезным поломкам поршней, клапанов, коленчатого вала, разрушению изолятора свечей и выгоранию электродов. Таким образом, чтобы свеча не покрывалась нагаром и не вызывала калильного зажигания, температура ее теплового конуса должна быть в пределах 400...900°С. Температуру 400...900°С теплового конуса изолятора называют тепловым пределом работоспособности свечи, который для всех свечей практически одинаков. Однако двигатели существенно различаются по мощности, по типу используемого бензина, по степени сжатия, а, следовательно, и по тепловой напряженности. Чем больше форсирован двигатель, тем большее количество тепла выделяется в камере сгорания, тем лучше должно отводиться тепло от свечи, чтобы она не перегревалась. Основная часть тепла (80%) отводится через центральный электрод по тепловому конусу изолятора. Далее одна часть данного теплового потока проходит по теплоотводящей шайбе и резьбовой части корпуса, а другая — через опорную поверхность корпуса и прокладку. Таким образом, чтобы выдержать тепловой предел работоспособности свечи, размеры ее конструктивных элементов и их формы (главным образом, теплового конуса изолятора) должны быть согласованы с тепловой напряженностью двигателя. Отсюда следует, что для различных двигателей требуются свечи зажигания с различной тепловой характеристикой.

Для определения "тепловая характеристика свечи зажигания" однозначного терминологического соглашения пока не существует. Чаще всего тепловая характеристика свечи зажигания выражается калильным числом. Калильное число свечи зажигания представляет собой некоторое условное число, которое характеризует способность свечи работать в условиях специального эталонного двигателя без калильного зажигания.

Согласно российскому ГОСТу 2043-74, под калильным числом понимается условное число из ряда 8, 11, 14, 17, 22, 23, 26, которое пропорционально среднему индикаторному давлению, при котором во время испытания свечи зажигания на тарировочном одноцилиндровом двигателе в цилиндре двигателя начинает появляться калильное зажигание.

Ряд зарубежных фирм под калильным числом принимает величину, пропорциональную времени, по истечении которого свеча, установленная на специальный испытательный двигатель, работающий при определенном режиме, начинает давать калильное зажигание. В некоторых случаях для оценки свечей различных типов используется показатель — относительное калильное число свечи зажигания. Этот показатель является произведением длины теплового конуса изолятора свечи (в мм) на ее калильное число.

Реже в качестве тепловой характеристики используется тепловое число, которое представляет собой отношение литровой мощности (в л.с.) двигателя к площади поверхности нижней части изолятора (см^2), воспринимающей тепло. Такая характеристика является мерой тепловой напряженности свечи зажигания.

В общем случае, тепловая характеристика конкретной свечи зажигания зависит от теплопроводности ее центрального электрода и центрального изолятора; от площади и кривизны поверхности теплового конуса изолятора; от формы запальной полости, доступной для рабочей смеси и других факторов. Изменяют тепловую характеристику свечей, в основном, изменением длины теплового конуса изолятора и площадью его соприкосновения с корпусом свечи (рис. 10.4).

Свеча, предназначенная для низкооборотистого двигателя с умеренным тепловым режимом, имеет длинный тепловой конус (рис. 10.4, а). Изо-

лятор такой свечи получает во время работы двигателя большое количество тепла и нагревается до температуры 600...700°С. Такая свеча называется "горячей". Свеча для быстроходного двигателя с высокой степенью сжатия и напряженным тепловым режимом имеет короткий тепловой конус (рис. 10.4, в), утопленный в корпусе и близко к нему прилегающий. Благодаря этому доступ горючей смеси к запальной полости несколько затруднен, но путь отвода тепла при этом значительно укорочен. Как следствие, изолятор получает меньшее количество тепла и лучше охлаждается (средняя температура нагревания изолятора не превышает 500...600°С). Такую свечу называют "холодной", и она работает без калильного зажигания при напряженном тепловом режиме двигателя. Однако в холодной свече зажигания короткий тепловой конус изолятора становится более восприимчивым к шунтирующему действию нагара.

Таблица 10.1

Ряды калильных чисел свечей зажигания

Фирма, страна	Калильное число										
	"Горячая" свеча										"Холодная" свеча
Россия	8	11		14		17	20		23		26
"Bosch", "Beru", Германия	13	12	11	10	9	2	1	09	08	07	06
"Champion", Англия	25	24		22					3	2	1
"AC Delco", США	9	8	7	6	5	4		3	2	1	0
"Eyquem", Франция	30	[illegible]	42		[illegible]	[illegible]	[illegible]	72		[illegible]	[illegible]
"NGK", Япония	2	4	5	6		.	.	.12		13	14

Современные двигатели легковых автомобилей характеризуются высокими значениями литровой мощности, что требует расширения теплового предела диапазона работоспособности свечей зажигания. Одним из способов решения этой задачи является увеличение теплопроводности центрального электрода путем использования медного сердечника, покрытого жаропрочной оболочкой, т.е. составного электрода из двух различных металлов. Благодаря хорошему теплоотводу от составного электрода может быть увеличена длина теплового конуса изолятора для холодной свечи зажигания (рис. 10.4, б). Это обеспечивает надежное самоочищение свечи на режимах малых нагрузок и холостого хода и делает конструкцию свечи зажигания менее чувствительной к образованию шунтирующего нагара. Хорошая теплопроводность составного электрода снижает вероятность перегрева деталей свечи и возникновения калильного зажигания.

В зависимости от принятого способа определения тепловой характеристики для свечей зажигания установлены ряды калильных чисел (табл. 10.1). Эти ряды составляются фирмами-изготовителями и отличаются друг от друга по информационной значимости условных единиц. Калильное число обязательно указывается в маркировке любой свечи зажигания.

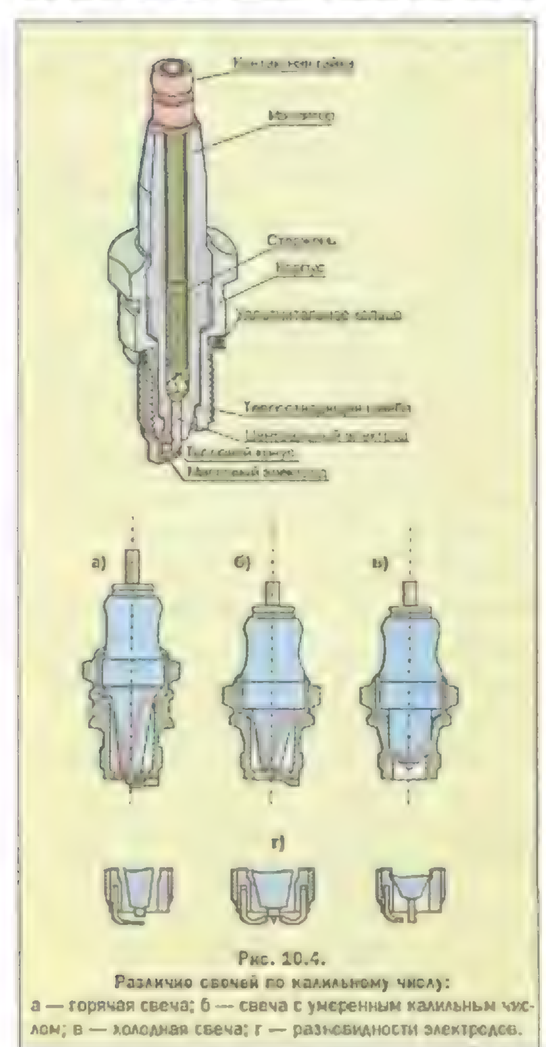


Рис. 10.4.
Различие свечей по калильному числу:
а — горячая свеча; б — свеча с умеренным калильным числом; в — холодная свеча; г — разновидности электродов.

10.4. Обслуживание

В течение первых 2000...3000 км пробега пробивное напряжение новой свечи зажигания повышается на 15...20% за счет округления кромок электродов. При дальнейшей работе под действием горючих газов, высокой температуры и искрового разряда электроды вырабатываются (выгорают) и

зазор в свече увеличивается в среднем на 0,015 мм на каждые 1000 км пробега автомобиля. В результате пробивное напряжение искрового промежутка постепенно возрастает, и рано или поздно система зажигания начинает работать с перебоями. В связи с этим через каждые 10 тыс. км пробега рекомендуется проводить регулировку искрового промежутка подгибкой бокового электрода, а через 30...40 тыс. км пробега — заменять свечи на новые. Использовать свечи с пробегом более 50 тыс. км не следует.

Перед вывертыванием свечей необходимо удалить вокруг них грязь и обдуть посадочные места сжатым воздухом, чтобы предупредить засорение камеры сгорания через свечное отверстие в головке блока цилиндров.

Вывертывать и завертывать свечу следует только при помощи свечного ключа со стандартным воротком длиной не более 20 см. Использовать вороток большей длины не рекомендуется, так как при затяжке или отворачивании чрезмерно затянутой свечи ее можно сломать. В случае использования свечи с конусной опорной поверхностью корпуса можно повредить не только саму свечу, но и посадочное гнездо в головке блока цилиндров.

Для затяжки свечей лучше использовать динамометрический ключ, соблюдая рекомендуемый момент затяжки (табл. 10.2), который зависит от размера резьбы, вида опорной поверхности корпуса свечи и материала головки блока цилиндров.

Если во время установки резьба свечи смазывается графитовой смазкой, то момент затяжки следует уменьшить от рекомендуемых в табл. 10.2 значений на 20...25%. Новые фирменные свечи в смазке резьбы не нуждаются.

При отсутствии динамометрического ключа поступают следующим образом. Завертывают свечу с чистой резьбой рукой до упора. Далее, используя штатный свечной ключ, продолжают ввертывать свечу до задержки вращения. После этого следует довернуть свечу. Для новых свечей с плоской опорной поверхностью корпуса и уплотнительным кольцом доворот составляет 90°. Если свеча с уплотнительным кольцом уже находилась в эксплуатации — доворот не более 30°. Свечу зажигания с конусной опорной поверхностью корпуса и без уплотнительного кольца "доворачивают" всего на 15°.

Таблица 10.2

Рекомендуемые моменты затяжки (Н•м) свечей зарубежного производства

Опорная поверхность корпуса	Резьба	Материал головки блока цилиндров	
		Чугун	Алюминиевый сплав
Плоская	M 10*1	10...15	10...15
	M 12*1,25	15...25	15...25
	M 14*1,25	20...40	20...30
	M 18*1,5	30...45	20...35
Конусная	M 14*1,25	15...25	10...20
	M 18*1,5	20...30	15...20

Более благоприятные условия воспламенения топливовоздушной смеси достигаются в камере сгорания двигателя, если ввернутая в головку блока цилиндров свеча располагается таким образом, чтобы боковые электроды не препятствовали доступу горючей смеси в искровой промежуток при открытии впускного клапана. Такое положение свечи можно обеспечить в пределах допустимого угла затяжки, предварительно сделав метки на корпусе свечи и на посадочном месте головки блока. Метки должны соответствовать оптимальному расположению свечи в камере сгорания относительно впускного клапана. Наиболее просто это выполнить для свечи с одним боковым электродом. Было замечено, что при таком расположении свечи стенки камеры сгорания меньше покрываются нагаром, двигатель более устойчиво работает на холостом ходу, меньше потребляет топлива и его мощность несколько возрастает.

Величина воздушного зазора свечи с нечетным числом боковых электродов проверяется круглым щупом, который вставляется продольно относительно бокового электрода и должен проходить между электродами с едва ощутимым сопротивлением. Ясно, что плоским щупом точно измерить зазор невозможно, так как в результате электроэрозии на боковых массовых электродах образуются выемки, которые вносят погрешность в измерение искрового промежутка. Эта погрешность может составлять 40...60%, что необходимо иметь в виду при установке зазора в свече с нечетным числом боковых электродов.

Основными неисправностями искровых свечей зажигания являются недостаточная герметичность по корпусу и центральному электроду, износ (выгорание) электродов, разрушение теплового конуса изолятора, образование нагара на внешней поверхности теплового конуса, что приводит к шунтировввнию воздушного зазора между электродами.

Большинство неисправностей свечи зажигания можно определить внешним осмотром. Так, о нарушении герметичности свечи говорит появление темного налета в виде ободочка на наружной поверхности изолятора вокруг корпуса.

Вывернув свечу из головки блока цилиндров, по херактеру износа электродов и состоянию теплового конуса изолятора можно судить о техническом состоянии не только свечи, но и двигателя.

У неработающей свечи все внутренние ее части покрыты влажным нагаром, а сама свеча при работе ДВС не нагревается выше средней температуры головки блока.

Ниже представлены типичные примеры внешнего вида внутренней торцовой части свечи зажигания, вывернутой из головки блока (рис. 10.5)*.

• **Нормальное состояние.** Тепловой конус изолятора слегка покрыт нагаром от серо-желтого, светло-коричневого до серо-белого цвета. Электроды не обгоревшие, торцовый ободок корпуса чистый. Можно утверждать, что приготовление горючей смеси в системе питания и установка момента воспламенения в системе зажигания безупречны, отсутствуют пропуски искрообразования и воспламенения. Калильное число свечи подобрано правильно. Двигатель и его системы работают устойчиво (поз. а).



Рис. 10.5.
Внешний вид внутренней торцовой части свечи зажигания при различных ее состояниях (расшифровка в тексте)

* *Фотографии из рекламного журнала фирмы "Champion".*

• **Отложения на изоляторе и электродах.** Значительные отложения на электродах, тепловом конусе изолятора и на ободке корпуса свечи могут быть в виде шлака или в виде рыхлого, легко отлетающего осадка. Основной причиной является наличие непредусмотренных инструкцией по эксплуатации двигателя присадок в моторном масле или топливе. По калильному числу свеча подобрана правильно. Если очистка свечи не дает результата, ее следует заменить (поз. б).

• **Свеча покрыта черным нагаром.** Тепловой конус изолятора, электроды и ободок корпуса покрыты бархатистым матово-черным нагаром. Причинами могут быть неисправности в системе питания двигателя (карбюраторе или системе впрыска топлива), слишком богатая смесь, засорение воздушного фильтра; неисправность пускового устройства карбюратора или слишком длительный процесс пуска двигателя, преобладание перевозок на короткие расстояния, слишком "холодная" свеча. Вследствие образования такого нагара возможны пропуски искрообразования и затруднение пуска холодного двигателя. Увеличивается расход топлива. Если свеча подобрана правильно, то после ее очистки и регулировки зазора, а также после устранения неисправностей в системах двигателя она может быть вновь установлена на место (поз. в).

• **Замасленная свеча.** Тепловой конус изолятора, электроды и корпус свечи покрыты глянцево-маслянистыми отложениями или плотным маслянистым нагаром. Причины: сломано маслосъемное кольцо, большой износ цилиндро-поршневой группы двигателя, высокий уровень масла в картере, маслосъемные сальники клапанов пришли в негодность, у двухтактного двигателя переизбыток масла в топливовоздушной смеси. Свечи, покрытые маслом, вызывают пропуски искрообразования, пуск двигателя затруднен или вообще невозможен. Перед очисткой свечу необходимо промыть струей бензина под напором (поз. г).

• **Перегрев свечи.** Внешний вид сильно перегретой свечи схож со свечой в нормальном состоянии. Отличие состоит в отсутствии нагара на электродах и тепловом конусе. Наиболее достоверно эту неисправность можно определить по сильному перегреву наружной части изолятора. Белый цвет изолятора и отсутствие на нем следов нагара свидетельствуют о перегреве свечи, вызванного ранним моментом зажигания, бедной смесью, подсосом дополнительного воздуха в цилиндр двигателя, использованием топлива с низким октановым числом, отсутствием уплотнительного кольца на свече с плоской опорной поверхностью корпуса, неис-

правностью системы охлаждения двигателя, наличием нагара на днище поршня и в головке цилиндра или применением "горячей" свечи. Свечу с признаками перегрева следует заменить, иначе в дальнейшем начнет развиваться выгорание электродов (поз. [illegible]).

Выгорание электродов. Оплавление электродов (особенно центрального), следы расплава металла на тепловом корпусе изолятора, застывшие шарики металла на ободке корпуса говорят о чрезмерном перегреве свечи и калильном зажигании. Причины такие же, как и в предыдущем случае. Во избежание поломок двигателя эксплуатацию автомобиля следует прекратить до выяснения необнаруженных причин калильного зажигания (поз. [illegible]).

Разрушение теплового конуса изолятора. Разрушение теплового конуса изолятора в виде сколов или трещин. Эта неисправность чаще всего появляется на длительно и нормально работающих свечах, что может быть результатом постоянной детонации двигателя, перегрева свечи, расширения центрального электрода под действием высоких температур или его коррозии, "зарастание" воздушного канала (см. поз. 12, рис. 10.1) между центральным электродом и изолятором нагарными отложениями, механического воздействия при неаккуратном обращении со свечой. Следует заметить, что появление детонационных стуков в двигателе может быть вызвано ранним зажиганием, калильным зажиганием при перегреве двигателя или использованием топлива с несоответствующим октановым числом. Работа двигателя с детонацией недопустима, так как приводит к его преждевременному выходу из строя (поз. ж).

Металлизация электродов. При постоянном использовании бензина с антидетонационными присадками на основе солей свинца срок службы свечей зажигания резко сокращается (с 50 тыс. до 10...15 тыс. км пробега). Объясняется это тем, что и центральный, и боковой электроды нормально работающей свечи зажигания покрываются неустранимым налетом свинцовых соединений в виде тонкой зеленоватой пленки. При появлении перебоев в системе зажигания такие свечи подлежат замене (поз. [illegible]).

10.5. Маркировка свечей зажигания

Маркировка любой свечи зажигания несет в себе практически полную информацию, необходимую для правильного выбора типа свечи к конкретному двигателю. К такой информации относятся данные о размере резьбы на корпусе, тепловой характеристике, особенностях конструкции свечи и т.п.

К сожалению, в мировой практике пока нет единого подхода к маркировке свечей зажигания. Каждая фирма по-своему обозначает свою продукцию. Как правило, зарубежные фирмы обозначают свои свечи зажигания различного назначения (автомобильные, мотоциклетные, авиационные и т.п.) по единой схеме.

В России действует отраслевой стандарт ОСТ 37.003.081-87, который распространяется на обозначения неразборных, неэкранированных искровых свечей зажигания всех типов двигателей внутреннего сгорания, кроме авиационных (рис. 10.6).

На рис. 10.7–10.12 в виде таблиц представлены расшифровки обозначений наиболее распространенных марок свечей зарубежного производства.



Рис. 10.6. Маркировка свечей зажигания отечественного производства

Следует отметить, что в отечественном стандарте для обозначения свечи используется десять информативных разрядов. Информация каждого разряда расшифрована в табличном блоке. В маркировке отече-

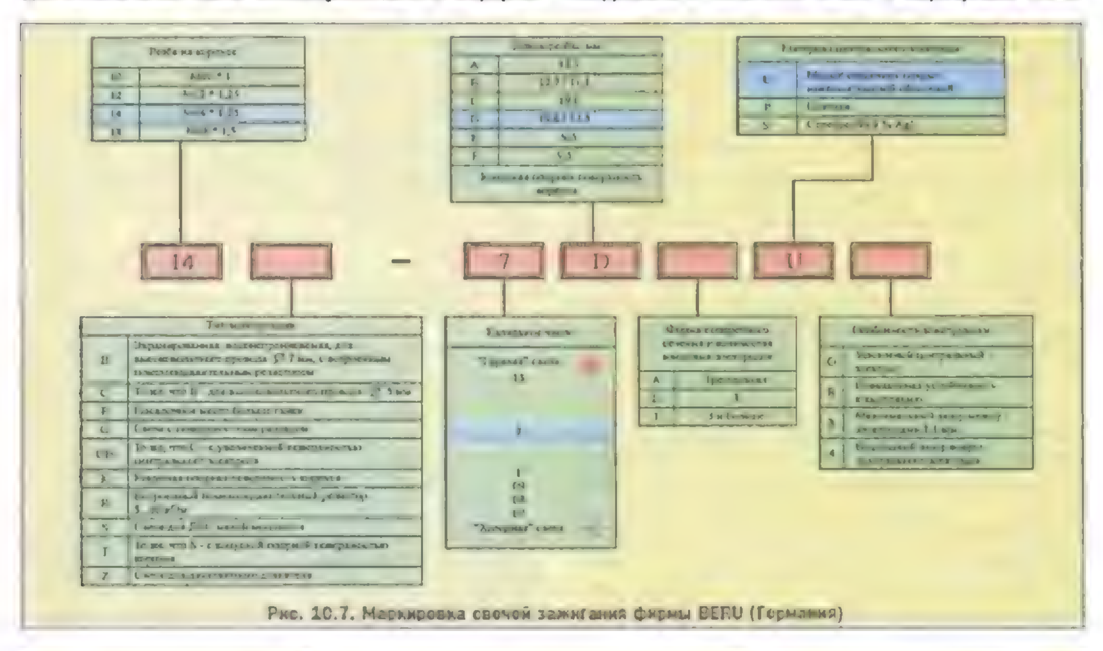


Рис. 10.7. Маркировка свечей зажигания фирмы BERU (Германия)

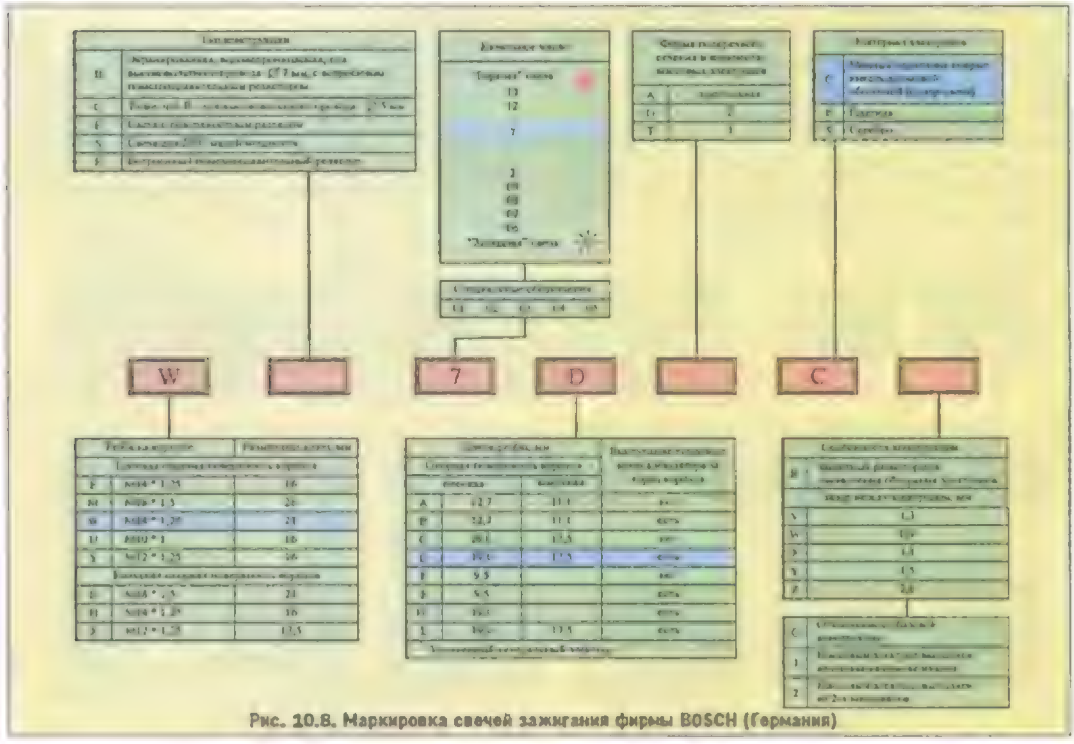


Рис. 10.8. Маркировка свечей зажигания фирмы BOSCH (Германия)

ственной свечи наиболее важная часть табличных блоков обозначена соответствующими символами, а другая часть — "пустотами" (см. табл. на рис. 10.6). В маркировке импортных свечей зажигания указывают-

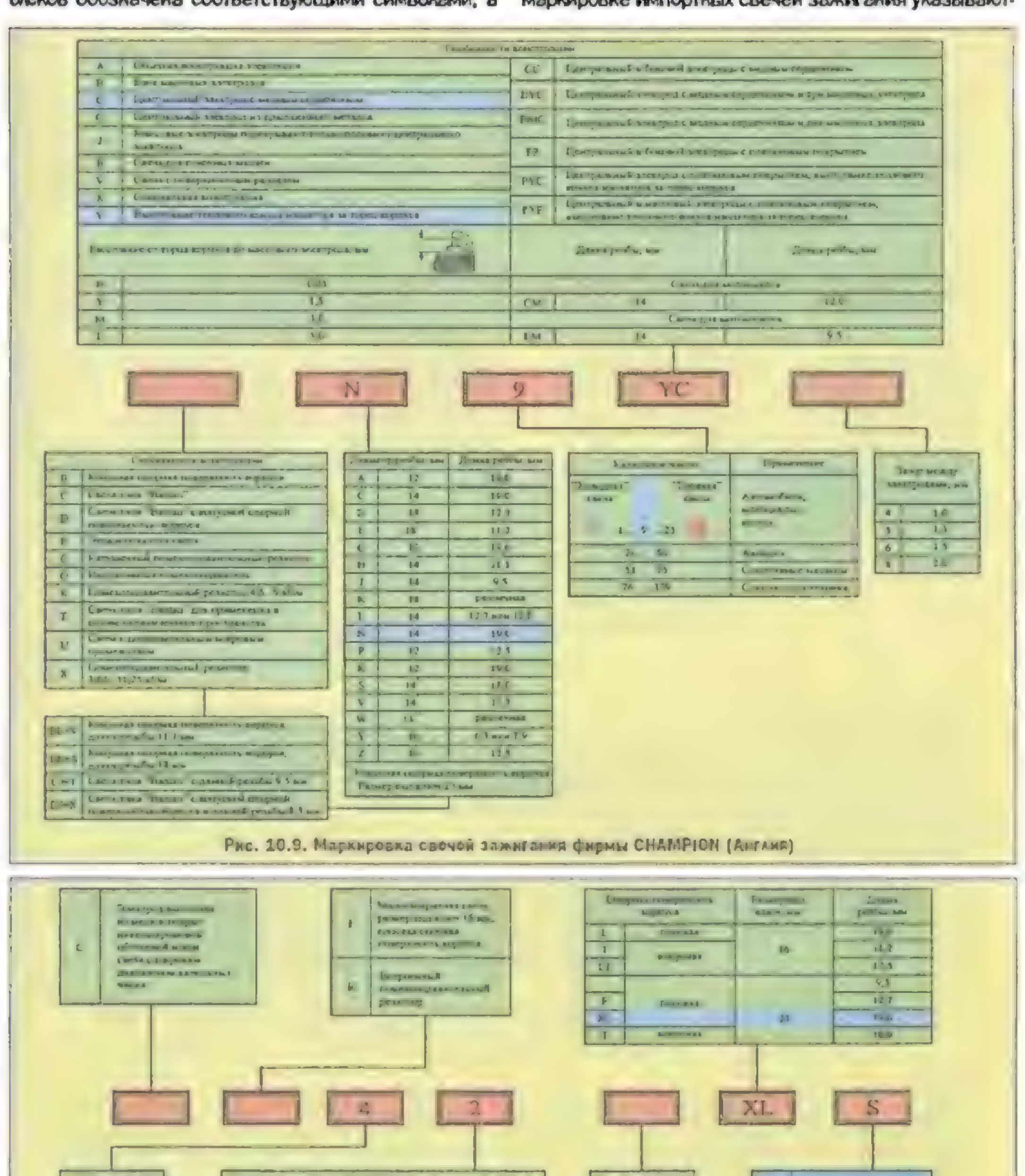


Рис. 10.9. Маркировка свечей зажигания фирмы CHAMPION (Англия)

Рис. 10.10. Маркировка свечей зажигания фирмы AC DELCO (США)

ся не все перечисленные в таблице сведения, а только самые принципиальные отличия. Пустоты для обозначения информативных табличных блоков в маркировке импортных свечей используются не всегда.

Данные по взаимозаменяемости отечественных и зарубежных свечей приведены в табл. 10.3. Таблица позволяет подобрать подходящую замену любой свече зажигания как на отече-

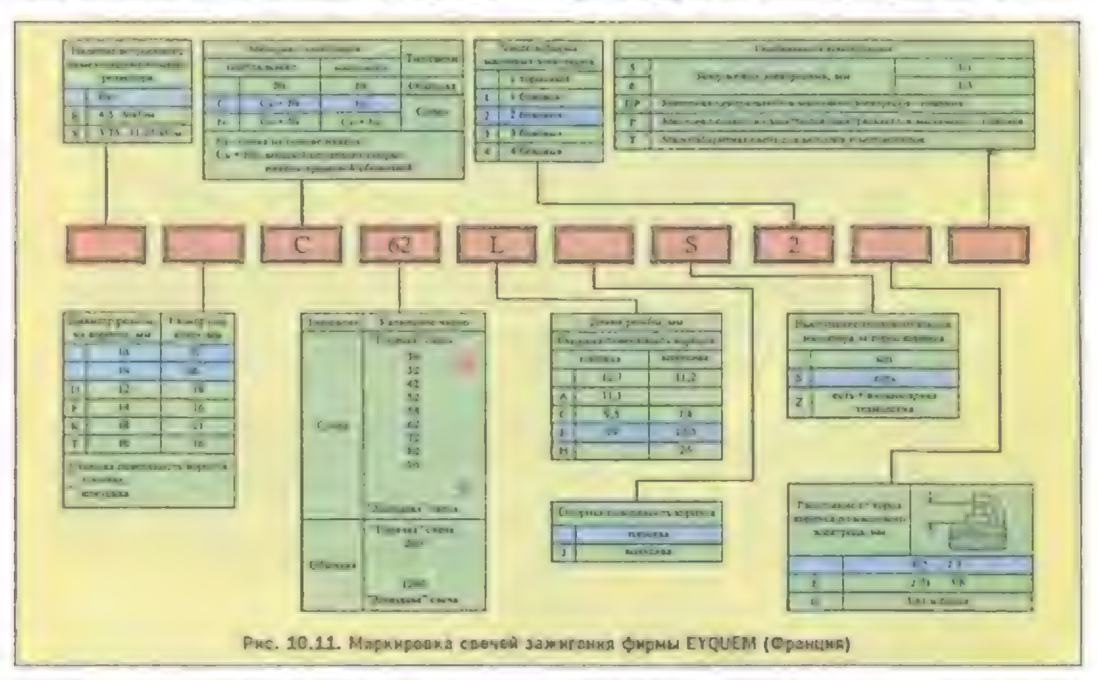


Рис. 10.11. Маркировка свечей зажигания фирмы EYQUEM (Франция)

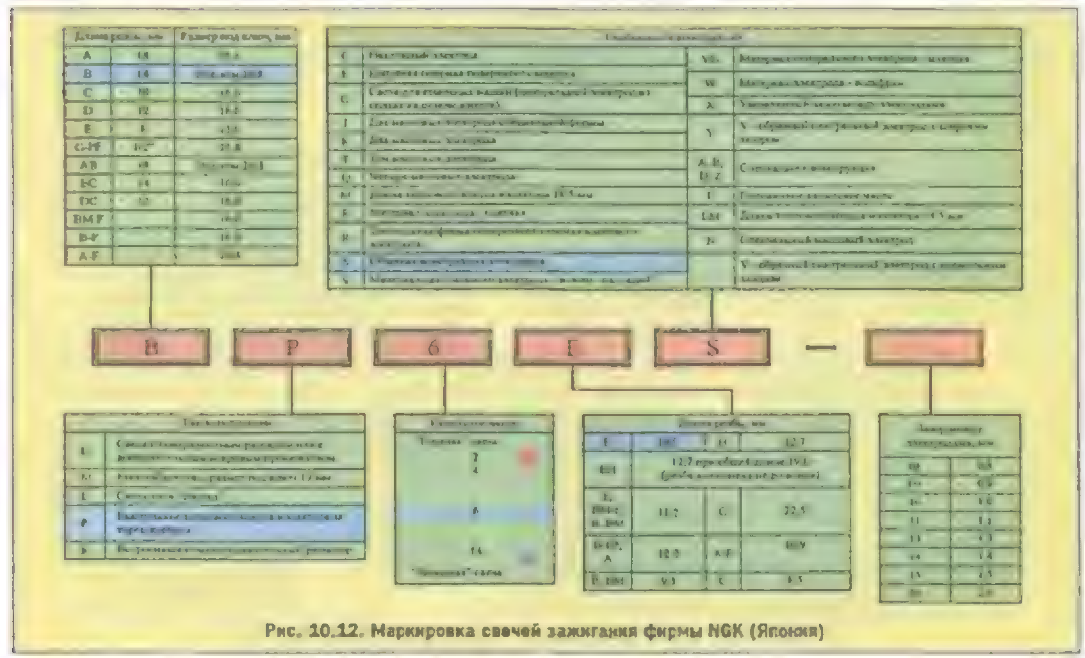


Рис. 10.12. Маркировка свечей зажигания фирмы NGK (Япония)

ственном, так и на импортном двигателе. В качестве примера в табл. 10.3 в красной строке приведены все возможные замены для отечественной свечи зажигания А17ДВ.

10.6. Взаимозаменяемость свечей зажигания

На практике часто приходится заменять свечи одного завода-изготовителя на свечи другого. Такая замена возможна, если новые свечи соответствуют по тепловой характеристике, а также по размеру, шагу и длине резьбы на корпусе.

- Длина резьбы на корпусе свечи зажигания должна соответствовать длине резьбы в головке блока цилиндров. Если резьбовая часть корпуса слишком длинная, то свеча выступает в камеру сгорания. При этом возможны повреждения поршней; выступающие в камеру сгорания витки резьбы закоксовываются, что может привести к невозможности вывертывания свечи; свеча перегревается.

Если длина резьбы свечи слишком короткая, то ее искровой промежуток находится внутри свечного отверстия головки блока цилиндров. В результате ухудшаются условия воспламенения горючей смеси; свеча не достигает температуры самоочищения и покрывается нагаром, что приводит к пропускам искрообразования; нижние витки резьбы головки блока цилиндров закоксовываются. Короткую резьбу нельзя компенсировать снятием уплотнительного кольца, так как нарушается герметичность посадки свечи в головке блока цилиндров и свеча перегревается. Также не допускается установка двух уплотнительных колец. Категорически запрещается установка под свечи зажигания удлиняющих трубок (футорок).

- При установке свечи зажигания другой модификации следует обратить внимание на величину искрового промежутка, наличие или отсутствие смещения теплового конуса изолятора по отношению к торцу корпуса, на вид опорной поверхности корпуса. Если свеча подобрана правильно по перечисленным признакам, а двигатель эксплуатируется в технически исправном состоянии, то обслуживание свечи сводится лишь к периодической проверке и регулировке искрового промежутка между электродами по мере их естественного износа.

Размер искрового промежутка свечи зажигания в первую очередь определяется величиной номинального вторичного напряжения на высоковольтном выводе катушки зажигания. В современных электронных системах зажигания с цифровым программным управлением вторичное напряжение поддерживается постоянным на всех возможных режимах работы ДВС и в 1,5...1,6 раза выше среднего пробивного напряжения для выбранной под данный двигатель свечи зажигания.

Таблица 10.3

Взаимозаменяемость свечей зажигания отечественного и зарубежного производства

Россия	BERU	BOSCH	CHAMPION	LODGE	KLG	MOTORCRAFT	AUTOLITE	AC DELCO	EYQUEM	MARELLI	NGK	NIPPON DENSO
Россия	Германия		Англия			США			Франция	Италия	Япония	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]			[illegible]		[illegible]		[illegible]	A6	
A11	14-16A	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	416	45F		[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		[illegible]	[illegible]		[illegible]		[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]			[illegible]	55	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	42FS	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		[illegible]		[illegible]	[illegible]	
А17ДВ [illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	53	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]			[illegible]		[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]					[illegible]			[illegible]	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		[illegible]		[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		[illegible]	[illegible]		[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]					[illegible]		[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]		[illegible]	[illegible]	[illegible]		[illegible]				[illegible]	[illegible]	

• Уже отмечалось, что строгого соответствия между калильными числами для свечей зажигания разных фирм-изготовителей не существует.

Из табл. 10.1 видно, что ряды калильных чисел совершенно произвольны. В рядах разнятся сами числа, их количество, их размерный шаг. Немецкие фирмы используют даже дробные числа. Направление возрастания калильного числа у разных фирм принято обозначать также по-разному. Россия, Франция, Япония используют возрастающий ряд, от горячего до холодного состояния свечи. Германия, США и Англия — убывающий. Как следствие неоднозначности калильных чисел, все таблицы взаимозаменяемости, в том числе и приведенная здесь табл. 10.3, имеют рекомендательный характер.

• После подбора свечей зажигания по табл. 10.3 взаимозаменяемости их необходимо испытать на работающем двигателе. Калильное зажигание не должно возникать после пятичасовой езды на автомобиле по автотрассе с примерно одинаковой скоростью (при нагрузке ДВС, близкой к максимальной), а также после одного часа работы прогретого двигателя на холостых оборотах при постоянно включенном вентиляторе охлаждения радиатора.

В обычном случае калильное зажигание проявляется по детонации выключенного двигателя. Если двигатель не имеет отсекающего клапана в канале холостого хода или системы принудительного холостого хода, то после выключения двигателя ключом зажигания зажигание следует снова включить через 2...3 с и удостовериться, что двигатель вновь не запустился. В противном случае имеет место калильное зажигание.

Марка бензина при таких испытаниях должна соответствовать рекомендациям завода-изготовителя автомобиля, а двигатель и его системы — не иметь явных дефектов. После каждого такого испытания свечи необходимо вывернуть из гнезд и тщательно осмотреть. Правильно подобранные и нормально работающие свечи по внешнему виду внутренней части должны соответствовать рис. 10.5, а.

• При работе современного двигателя от системы впрыска с турбонаддувом, когда степень сжатия не менее 10, свечи зажигания имеют увеличенный зазор (1,1...1,3 мм) и обладают хорошим теплоотводом (холодные свечи). При этом свечи работают совместно с электронной системой зажигания, которая имеет повышенный запас по вторичному напряжению (1,5...1,7). В таком случае свечи зажигания должны быть более устойчивы к высокому напряжению пробоя и к высокой температуре. Электроды таких свечей, как правило, биметаллические, т.е. медные с хромоникелевым покрытием или платиновые, а наружная часть изолятора — обязательно гофрирована ребрами. Заменять такие свечи можно только на абсолютно аналогичные (той же модели).

Глава одиннадцатая

АВТОМОБИЛЬНЫЕ КАТУШКИ ЗАЖИГАНИЯ

Катушка зажигания — обязательный компонент любой автомобильной электроискровой системы зажигания. По конструктивному исполнению катушки зажигания исключительно разнообразны. Помимо катушек стали часто применяться и трансформаторы зажигания. Описанию различных современных катушек и трансформаторов зажигания посвящена настоящая глава.

11.1. Общие сведения

В наиболее распространенных системах зажигания с накоплением энергии в индуктивности катушка зажигания представляет собой не только повышающий импульсный трансформатор (или автотрансформатор), но и накопитель энергии.

• Как индуктивный накопитель энергии, катушка зажигания должна обладать определенной вместимостью магнитного поля, которую называют индуктивностью катушки. Для увеличения индуктивности первичной обмотки катушки зажигания применяют ферромагнитный сердечник. Чтобы сердечник не насыщался первичным током, что неизбежно приводит к уменьшению накапливаемой в магнитном поле энергии, магнитопровод делают разомкнутым. Это позволяет создавать катушки зажигания с индуктивностью первичной обмотки 5...10 мГн, при максимальной величине первичного тока 3...4 А. Такие параметры катушки приемлемы для контактной батарейной системы зажигания, так как в такой системе первичный ток не может быть выше 3...4 А из-за быстро прогрессирующей эрозии и обгорания контактной пары прерывателя (максимально допустимый ток разрыва на контактах — 5 А).

В катушке с индуктивностью $L_к$ = 10 мГн при максимальном токе I_1 = 4 А и КПД = 50% можно запасти электромагнитной энергии $W_к$ не более 40 мДж ($W_к = 0,5\,L_к\,I^2$).

В первом приближении этого достаточно для устойчивого функционирования системы зажигания на всех режимах работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Но с повышением "оборотистости" двигателя и числа его цилиндров ток разрыва на контактной паре из-за большой индуктивности катушки не успевает достичь своего максимального значения $I_1 = U_Б/R_1$ = 4 А ($U_Б$ — напряжение в бортсети автомобиля, R1 — сопротивление первичной обмотки катушки зажигания), и запасаемая в индуктивности энергия начинает быстро (по квадратичному закону) падать. При этом накопитель не дозаряжается до расчетной величины и электродвижущая сила (ЭДС) самоиндукции во вторичной обмотке катушки зажигания, а следовательно, и вторичное (выходное) напряжение системы зажигания становятся меньше. Как следствие, коэффициент запаса по вторичному напряжению в контактной системе зажигания очень низкий (не более 1,2).

Следует заметить, что увеличением индуктивности первичной обмотки катушки зажигания выше 10...11 мГн добиться повышения запасаемой энергии в контактной системе зажигания не удается, так как при этом увеличивается время нарастания первичного тока и на высоких оборотах ДВС ток не успевает достичь требуемого значения. При уменьшении индуктивности накопителя скорость нарастания первичного тока пропорционально растет, а активное сопротивление первичной обмотки падает. Таким образом, с уменьшением индуктивности первичной обмотки можно увеличивать ток разрыва до 9...10 А и управлять этим током, изменяя время накопления энергии. При этом запасаемая энергия возрастает до 80...100 мДж. Все это становится возможным, если заменить контактную пару в первичной обмотке катушки зажигания на транзисторный ключ (электронный коммутатор). Теперь при достаточной избыточности энергии, накопленной в катушке зажигания, возможно нормировать время накопления с целью поддержания тока разрыва в строго заданных пределах. Это обеспечивает стабилизацию параметров системы зажигания на всех режимах работы ДВС, в том числе и облегченный пуск холодного двигателя при падении напряжения в бортсети автомобиля.

• Рассмотрим катушку зажигания как повышающий импульсный трансформатор. Катушка содержит две обмотки — первичную и вторичную, намотанные на общий сердечник разомкнутого магнитопровода, выполненного из магнитомягкой электротехнической стали. Первичная обмотка состоит из небольшого числа витков, а вторичная — из очень большого числа витков более тонкого провода. В системах зажигания с накоплением энергии в индуктивности первичная обмотка катушки зажигания подключается непосредственно к бортсети автомобиля. При этом по ней протекает ток, который наводит вокруг витков катушки магнитное поле. Силовые линии этого поля, замыкаясь вокруг катушки, пронизывают витки обеих обмоток. К моменту разрыва токовой цепи в магнитном поле катушки накапливается электромагнитная энергия $W_к$. Прерывание первичного тока I_1 приводит к исчезнове-

нию магнитного поля и индуцированию в витках обеих обмоток ЭДС самоиндукции. Величина наведенной таким способом ЭДС пропорциональна индукции запасенного магнитного поля и скорости его исчезновения, а также числу витков в обмотках. Так как вторичная обмотка состоит из очень большого числа витков, то ЭДС, наведенная во вторичной обмотке, достигает значительной величины (в современных катушках — до 35000 В), с избытком достаточной для пробоя искрового промежутка в свечах зажигания. Наведенная ЭДС в первичной обмотке не превышает 500 В.

Устройство и параметры конкретной катушки зажигания зависят от типа системы зажигания, в которой данная катушка работает. Рассмотрим особенности катушек различных систем зажигания.

11.2. Конструкция и параметры классической катушки зажигания

Катушка зажигания классической батарейной системы зажигания (рис. 11.1) представляет собой электрический автотрансформатор с разомкнутой магнитной цепью и с большой индуктивностью первичной обмотки.

- Сердечник 2 катушки набран из пластин электротехнической стали толщиной 0,35...0,5 мм, изолированных друг от друга окалиной или лаком. Иногда сердечник изготавливают в виде пакета из отрезков отожженной стальной проволоки. На сердечник надета изолирующая трубка 16, поверх которой намотана вторичная обмотка 4. Каждый слой вторичной обмотки изолирован кабельной бумагой 5, а высоковольтные слои намотаны с зазором в 2...3 мм, чтобы уменьшить опасность междувиткового пробоя. Первичная обмотка 15 намотана на вторичную. Корпус 1 катушки штампуется из листовой стали или вытягивается из алюминия. Внутри корпуса по его стенке уложен наружный по отношению к обмоткам магнитопровод 14, выполненный в виде свертка широкой ленты из отожженной электротехнической стали. В электрическом отношении этот сверток представляет собой широкий ленточный виток вокруг катушки, разомкнутый бумажной изоляцией и заземленный одной точкой на корпус. В магнитном отношении такой виток из отожженной стальной ленты является ограничивающим экраном для магнитного поля катушки.

Соединение обмоток катушки следующее: начало вторичной обмотки соединяется с выводом ВВ высокого напряжения. Конец вторичной обмотки и начало первичной обмотки соединены между собой и подведены к зажиму 10 (клемма "Б"). Конец первичной обмотки соединен с зажимом 7 (клемма "—"), который соединяется с прерывателем.

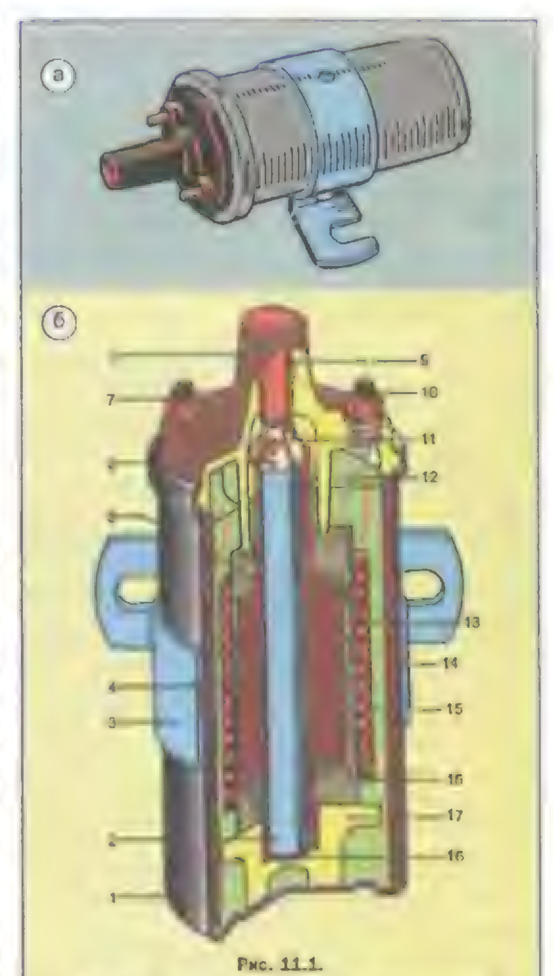


Рис. 11.1.
Катушка зажигания классической конструкции:
а — внешний вид; б — катушка в разрезе; 1 — защитный кожух (корпус) катушки; 2 — центральный стержень (сердечник магнитопровода М); 3 — крепежная скоба; 4 — вторичная обмотка W2; 5 — междуслойная изоляция вторичной обмотки (кабельная бумага); 6 — верхняя пластмассовая крышка катушки; 7 — вывод конца первичной обмотки (клемма "–"); 8 — изоляционное гнездо центрального высоковольтного вывода ВВ; 9 — фиксирующий контакт высоковольтного вывода; 10 — вывод начала первичной и конца вторичной обмоток (клемма "Б"); 11 — электрическое соединение стержня с контактом 9 (пружина и контактная пластина); 12 — изолирующий теплопроводящий наполнитель (трансформаторное масло); 13 — один из вариантов соединения начала вторичной обмотки со стержнем магнитопровода; 14 — наружный магнитопровод (сверток магнитомягкой стальной ленты); 15 — первичная обмотка W1; 16 — изолирующая трубка; 17 — керамическая изолирующая опора; 18 — один из вариантов соединения начала вторичной обмотки со стержнем магнитопровода.

Указанная последовательность соединений имеет место в катушках зажигания, которые работают без добавочного резистора.

Вывод высокого напряжения из катушки зажигания имеет оригинальное исполнение. Начало вторичной обмотки находится под высоким потенциалом и соединено с центральным стержнем 2 магнитопровода (точка 13 или 18 на рис. 11.1). Далее через стержень 2 и электрическое соединение 11 высокое напряжение вторичной обмотки поступает на контакт 9 центрального высоковольтного вывода 8 катушки зажигания. Таким образом центральный стержень магнитопровода и намотанная на него вторичная обмотка являются высоковольтной сердцевиной катушки зажигания и находятся на достаточном, с точки зрения электрической прочности, удалении от корпуса. Чтобы сердцевина была жестко зафиксирована в корпусе, но не имела с ним электрического контакта, снизу установлена керамическая изолирующая опора 17, а сверху корпус завальцован пластмассовой изоляционной крышкой 6. Первичная обмотка, как низкопотенциальная, но более нагревающаяся под действием первичного тока, намотана поверх вторичной и находится ближе к защитному кожуху (корпусу катушки). Так как пустоты между корпусом и обмотками внутри катушки заполнены трансформаторным маслом (или другим теплопроводящим наполнителем) 12, то такая конструкция обладает не только достаточно высокой электрической и механической прочностью, но и хорошим теплообменом с "массой" автомобиля через защитный кожух.

Реализованные таким способом внутренняя электрическая изоляция и естественное охлаждение катушки повышают срок ее службы и эксплуатационную надежность.

Катушка зажигания крепится к кузову автомобиля с помощью скобы 3. Надежное крепление способствует лучшему охлаждению катушки.

• Некоторые катушки зажигания работают с добавочным резистором, который обычно устанавливают под крепежную скобу в керамическом изоляторе (рис. 11.2).

Схема соединений обмоток в таких катушках изменена. Так, общая точка соединения первичной W1 и вторичной W2 обмоток соединена не с клеммой Б ("+" напряжения бортсети), а через клемму 1 с прерывателем ("–" напряжения бортсети). При этом конец первичной обмотки выводится на дополнительную клемму ВК и далее через дополнительный резистор $R_д$ — на клемму Б. Таким образом, добавочный резистор подключается к первичной обмотке катушки зажигания последовательно и обмотка рассчитывается на пониженное напряжение 7...8 В. На рабочих режимах двигателя напряжение питания в бортсети автомобиля составляет 12...14 В. Часть этого напряжения гасится на добавочном резисторе. На пусковых режимах двигателя, когда напряжение на аккумуляторной батарее падает, добавочный резистор закорачивается вспомогательными контактами тягового реле стартера или контактами дополнительного реле включения стартера (в зависимости от марки автомобиля), что обеспечивает первичной обмотке катушки зажигания необходимое рабочее напряжение 7...8 В.

Добавочный резистор обычно наматывается из константановой или никелевой проволоки. В последнем случае он выполняет роль так называемого вариатора. Сопротивление вариатора изменяется в зависимости от величины протекающего по нему тока: чем больше ток, тем выше температура нагрева вариатора и тем больше его сопротивление. Величина первичного тока, потребляемого катушкой зажигания, зависит от частоты вращения коленчатого вала двигателя. При низкой частоте вращения, когда сила первичного тока к моменту его прерывания успевает достигнуть максимального значения, сопротивление вариатора также макси-

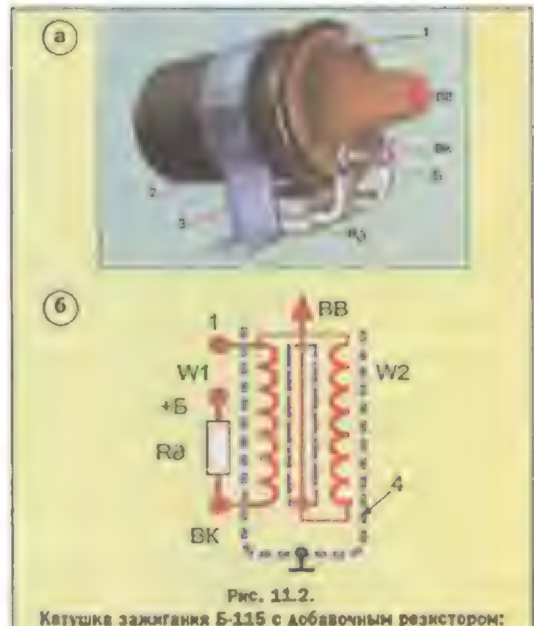


Рис. 11.2.

Катушка зажигания Б-115 с добавочным резистором:
а — внешний вид; б — электрическая схема катушки; Rд — добавочный резистор 1 Ом в керамическом изоляторе; Б — клемма для подачи напряжения бортсети; ВК — клемма для подключения замыкателя; ВВ — высоковольтный вывод; 1 — клемма для соединения с прерывателем; 2 — корпус катушки; 3 — крепежная скоба ; 4 — магнитный экран внутри корпуса.

мально. При повышении частоты вращения сила первичного тока падает, нагрев вариатора ослабевает и его сопротивление уменьшается. Так как вторичное напряжение, развиваемое катушкой зажигания, зависит от тока разрыва в первичной цепи, то применение вариатора дает возможность снизить вторичное напряжение при малой и повысить при большой частоте вращения вала двигателя, что несколько уменьшает основной недостаток контактной системы зажигания — снижение вторичного напряжения с увеличением частоты вращения. Если добавочный резистор выполнен из константана, вариационные свойства в нем не проявляются. Добавочный резистор может также устанавливаться отдельно от катушки зажигания. На некоторых автомобилях, например, на автомобилях фирмы АвтоВАЗ, добавочный резистор в системе зажигания отсутствует, что обусловлено применением аккумуляторной батареи с повышенными пусковыми свойствами, напряжение которой при пуске двигателя снижается незначительно.

• Катушка зажигания как повышающий трансформатор характеризуется числом витков в обмотках. В зависимости от типа и назначения катушки число витков лежит в пределах 180...330 — для первичной и 18 000...26 000 — для вторичной обмоток. Соответственно диаметр провода первичной обмотки — 0,53...0,86 мм, а вторичной — 0,07...0,095 мм. Коэффициент трансформации — 55...100. Для катушек зажигания без добавочного резистора сопротивление R_1 первичной обмотки — 2,9...3,4 Ом. Если катушка зажигания включается в цепь питания через добавочный резистор, то сопротивление первичной обмотки уменьшают до 1,5...2,1 Ом. При этом сопротивление добавочного резистора в зависимости от типа катушки — 0,9...1,9 Ом. Сопротивление R_2 вторичной обмотки может составлять несколько десятков килоом. Значения индуктивности L_1 первичной обмотки катушки зажигания для систем зажигания с индуктивным накопителем энергии находится в пределах 6...11 мГн. В системах зажигания с емкостным накопителем индуктивность первичной обмотки катушки зажигания не является накопителем энергии, поэтому ее значение может быть значительно меньше (до 0,1 мГн). Индуктивность L_2 вторичной обмотки составляет несколько десятков генри.

• Катушки, работающие в контактных системах зажигания, обеспечивают следующие выходные характеристики:

— максимальное вторичное напряжение 18...20 кВ;

— скорость нарастания вторичного напряжения 200...250 В/мкс;

— суммарная длительность фаз искрового разряда 1,1...1,5 мс;

— энергия искрового разряда 15...20 мДж.

11.3. Катушки зажигания электронных систем зажигания

В контактно-транзисторных и транзисторных системах зажигания прерывание первичного тока катушки осуществляется не контактами механического прерывателя, а силовым транзистором. При этом первичный ток I_1 может быть увеличен до 10...11 А. Это привело к необходимости создания специальных катушек зажигания с низкими значениями сопротивления и индуктивности первичной обмотки и большим коэффициентом трансформации (см. табл. 11.1).

• Длительное время катушки для электронных систем зажигания изготовлялись с электрически разделенными обмотками, т.е. с трансформаторной связью. При такой схеме соединения один из выводов вторичной обмотки соединен с корпусом катушки, т.е. с "массой" автомобиля. Считалось, что применением трансформаторной схемы включения обмоток можно избежать перегрузки выходного транзистора коммутатора дополнительным всплеском напряжения, возникающим в первичной обмотке во время разрядных процессов во вторичной цепи системы зажигания. Это утверждение справедливо только тогда, когда корпус катушки имеет надежный контакт с "массой" автомобиля. Однако окисление этого контакта, что довольно часто случается в эксплуатации, приводит к его нарушению, что становится причиной выхода из строя силового транзистора коммутатора. Поэтому в настоящее время катушки контактно-транзисторных и транзисторных систем зажигания выпускаются с автотрансформаторной схемой соединения обмоток.

Первичная обмотка катушки в таких системах зажигания низкоомная и подключается к источнику питания, как правило, через выносной добавочный резистор. Иногда применяется блок из двух добавочных резисторов. Тогда один из резисторов включен постоянно и ограничивает ток в низкоомной первичной цепи, а второй резистор выполняет роль добавочного резистора, как и в классической контактной системе зажигания.

• Катушки зажигания, рассчитанные для работы с транзисторным ключом, являются мощными потребителями электрической энергии. Следует помнить, что если на автомобиле, оборудованном электронной системой зажигания, выйдет из строя генераторная установка, то на аккумуляторной батарее можно проехать всего несколько десятков километров, тогда как на автомобиле с контактной системой зажигания в аналогичном случае — сотни километров.

• Катушки контактно-транзисторных и транзисторных систем зажигания имеют классическую конструкцию и выполнены по традиционной технологии: они маслонаполненные, с разомкнутым магнитопроводом и в металлическом корпусе. От катушек кон

тактной системы зажигания они отличаются только обмоточными данными. Расход обмоточной меди у них по сравнению с катушками обычной контактной системы больше в 1,2...1,3 раза за счет увеличения диаметра провода первичной обмотки и увеличения числа витков вторичной. Выходные характеристики катушек контактно-транзисторных и транзисторных систем зажигания близки к характеристикам катушек контактных систем. Однако последним они уступают по скорости нарастания вторичного напряжения (100...200 В/мкс) и, как следствие, более чувствительны к влиянию нагара на свечах.

- В электронных системах зажигания высокой энергии с нормированным временем накопления (временем протекания первичного тока) применяются катушки зажигания, аналогичные по конструкции вышерассмотренным: они имеют автотрансформаторную схему соединения обмоток и разомкнутый магнитопровод. Но поскольку эти катушки развивают повышенное вторичное напряжение при работе на открытую цепь (до 35 кВ), их высоковольтная изоляция усилена. Кроме того, при выборе параметров катушек для современных электронных систем зажигания учитываются следующие особенности работы этих систем:

— длительность импульсов первичного тока формируется таким образом, чтобы имел место минимум рассеиваемой мощности в катушке и на силовом транзисторе коммутатора;

— время протекания первичного тока зависит от частоты вращения коленчатого вала двигателя и напряжения питания;

— амплитуда импульсов первичного тока ограничивается на уровне 6,5...10 А в зависимости от типа электронного коммутатора;

— при неработающем двигателе, но включенном зажигании, ток в первичной обмотке катушки зажигания не протекает.

- Конструктивная особенность катушек зажигания, применяемых в электронных системах с нормируемым временем накопления энергии, — наличие специального защитного клапана в высоковольтной крышке или в линии завальцовки крышки с корпусом. Этот клапан открывается в случае увеличения давления масла, что имеет место при повышении его температуры. Срабатывание клапана — это аварийная ситуация, возникающая тогда, когда выходит из строя система управления временем накопления энергии в электронном коммутаторе. При этом длительность протекания первичного тока увеличивается, катушка сильно нагревается и давление масла внутри ее корпуса повышается. Срабатывание защитного клапана предотвращает взрыв катушки. Но после этого катушка восстановлению не подлежит. Представительницей таких катушек является катушка 27.3705, которая широко применяется в составе электронной системы зажигания, например, на автомобилях ВАЗ-2108, ВАЗ-2109. Эта катушка и подобные ей работают без добавочного резистора, а стабильные выходные характеристики системы зажигания при пуске двигателя (при снижении напряжения питания до 6...7 В) обеспечиваются за счет низкого сопротивления первичной обмотки (0,4...0,5 Ом).

11.4. Катушки зажигания микропроцессорных систем зажигания

В современных микропроцессорных системах зажигания с накоплением энергии в индуктивности распределение высоковольтных импульсов по свечам в цилиндрах двигателя осуществляется без высоковольтного распределителя и чаще всего с применением двухвыводных катушек зажигания. Такой способ иногда называют статическим распределением. Система зажигания с двухвыводными катушками пригодна для работы на четырехтактном двигателе с любым четным числом цилиндров (2, 4, 6, 8...).

На рис. 11.3 показана схема выходного каскада системы зажигания для 4-х цилиндрового ДВС. Чтобы чередование воспламенений топливовоздушной смеси в цилиндрах соответствовало порядку работы двигателя (1243 или 1342), первая свеча сгруппирована с четвертой, а вторая — с третьей. При таком соединении свечей "рабочие" искры возникают в цилиндрах в конце такта сжатия, а "холостые" искры — в конце такта выпуска. Ясно, что рабочие искры воспламеняют топливовоздушную смесь, а холостые — разряжаются в среде отработавших газов.

- Первые двухвыводные катушки зажигания были изготовлены на базе традиционных одновыводных катушек с разомкнутым магнитопроводом в маслонаполненном металлическом корпусе. Они имели увеличенные габариты и массу и значительно отличались

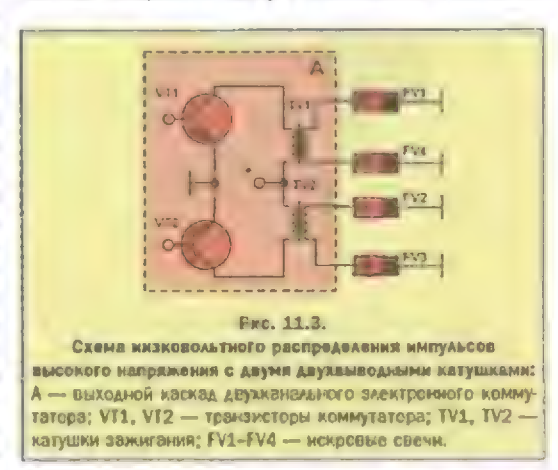


Рис. 11.3.
Схема низковольтного распределения импульсов высокого напряжения с двумя двухвыводными катушками:
А — выходной каскад двухканального электронного коммутатора; VT1, VT2 — транзисторы коммутатора; TV1, TV2 — катушки зажигания; FV1–FV4 — искровые свечи.

от прототипа по конструкции. Такие катушки не нашли широкого применения.

Разработка новых полимерных материалов, обладающих высокими диэлектрическими свойствами, позволила создавать так называемые "сухие" двухвыводные катушки зажигания.

- Двухвыводная катушка зажигания (рис. 11.4) имеет разомкнутый магнитопровод и двухсекционную вторичную обмотку. Вторичная обмотка расположена сверху первичной, что обеспечивает надежную изоляцию выводов высокого напряжения. Охлаждение первичной обмотки — через центральный стержень магнитопровода, который выступает наружу и имеет крепежное отверстие. Обмотки катушки пропитаны компаундом и опрессованы полипропиленом, из пропилена выполнены также корпус, гнезда высоковольтных и низковольтных выводов.
- В настоящее время все большее распространение получают трансформаторы зажигания, т.е. двухвыводные катушки зажигания с замкнутым магнитопроводом 1 (рис. 11.5). В таких катушках вторичная обмотка 3 имеет каркасную секционную намотку, позволяющую уменьшить вторичную емкость и усилить изоляцию вторичной обмотки. Катушка имеет пластмассовый каркас 9, в который вмонтированы обмотки. При сборке обмотки заливаются эпоксидным компаундом 8. Катушка в сборе с обмотками и выводами представляет собой монолитную конструкцию с высокой стойкостью к механическим, электрическим и климатическим воздействиям. Сердечник катушки 1, набранный из тонких листов электротехнической стали, состоит из двух симметричных половин, при стягивании которых в центральном стержне образуется зазор 0,3...0,5 мм для некоторого увеличения индуктивности первичной обмотки повышающего трансформатора (см. поз. 7, рис. 11.5).

Наличие замкнутого магнитопровода позволяет уменьшить габариты и вес катушки, повысить КПД

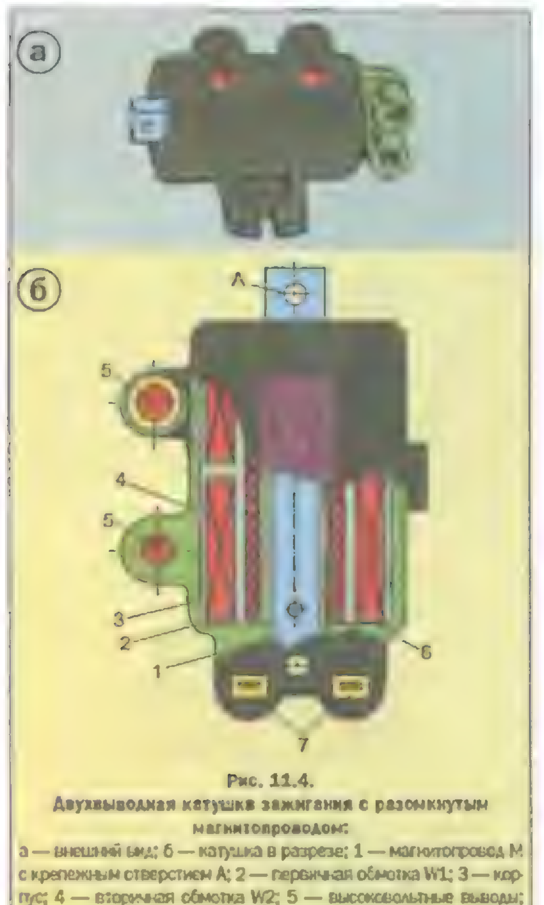


Рис. 11.4.
Двухвыводная катушка зажигания с разомкнутым магнитопроводом:
а — внешний вид; б — катушка в разрезе; 1 — магнитопровод М с крепежным отверстием А; 2 — первичная обмотка W1; 3 — корпус; 4 — вторичная обмотка W2; 5 — высоковольтные выводы; 6 — заливка полипропиленом; 7 — низковольтные выводы.

Рис. 11.5.
Двухвыводная катушка зажигания с замкнутым магнитопроводом:
а — внешний вид; б — катушка в разрезе; 1 — замкнутый магнитопровод М с воздушным зазором; 2 — первичная обмотка W1; 3 — вторичная обмотка W2; 4 — корпус (стяжные элементы магнитопровода); 5 — высоковольтные выводы; 6 — низковольтные выводы; 7 — воздушный зазор в центральном керне магнитопровода; 8 — заливка катушки полипропиленом; 9 — пластмассовый каркас.

преобразования энергии, уменьшить расход обмоточного провода и электротехнической стали, улучшить параметры искрового разряда, снизить трудоемкость изготовления.

- В некоторых модификациях микропроцессорных систем зажигания применяются четырехвыводные катушки зажигания, состоящие из двухвыводных катушек, собранных на общем Ш-образном магнитопроводе (рис. 11.6). В такой конструкции общим элементом является средний стержень магнитопровода, а взаимное влияние двух катушек друг на друга исключается с помощью двух воздушных зазоров δ. Величина этих зазоров может достигать 1...2 мм, чем увеличивается магнитное сопротивление в магнитопроводе и достигается развязка каналов.

- Более распространенной является схема четырехвыводной катушки с высоковольтными диодами (рис. 11.7), которая содержит две встречно намотанные первичные обмотки и одну вторичную. Полярность вторичного напряжения определяется направлением укладки витков в первичных обмотках. Если в точке S (см. рис. 11.7) напряжение имеет положительную полярность, то открываются высоковольтные диоды VD1, VD4 и в соответствующих цилиндрах двигателя появляются искровые разряды (рабочая и холостая искры). Вторая первичная обмотка намотана в обратном направлении, и при прерывании в ней тока полярность вторичного напряжения в точке S изменится на отрицательную. При этом искровые разряды возникнут в двух цилиндрах двигателя со свечами FV2 и FV3. Для исключения взаимного влияния первичных обмоток в период образования импульсов высокого напряжения к их выводам низкого напряжения подключены разделительные диоды VD5, VD6.



Рис. 11.7.
Электрическая схема включения четырехвыводной катушки с высоковольтными диодами:
VD1–VD4 — высоковольтные диоды; A — выходной каскад; TV — трансформатор зажигания; остальные обозначения по рис. 11.6.

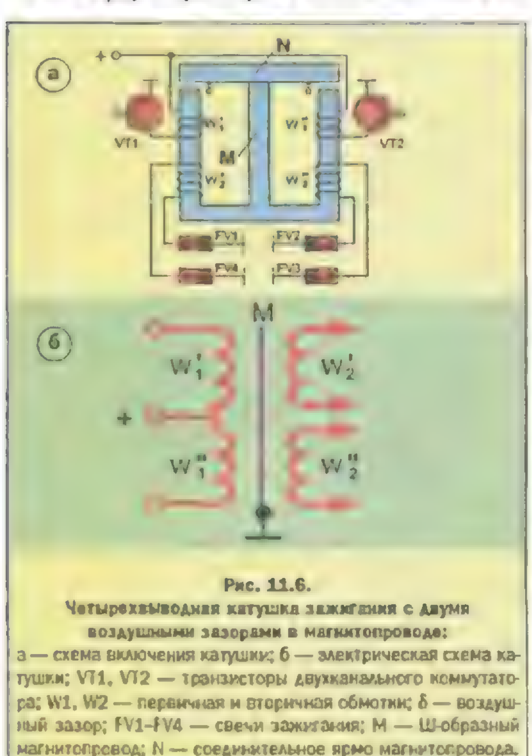


Рис. 11.6.
Четырехвыводная катушка зажигания с двумя воздушными зазорами в магнитопроводе:
а — схема включения катушки; б — электрическая схема катушки; VT1, VT2 — транзисторы двухканального коммутатора; W1, W2 — первичная и вторичная обмотки; δ — воздушный зазор; FV1–FV4 — свечи зажигания; M — Ш-образный магнитопровод; N — соединительное ярмо магнитопровода.

- К общим недостаткам систем зажигания с двух- и четырехвыводными катушками относится разнополярность высоковольтных импульсов относительно "массы" автомобиля на спаренных свечах зажигания. За счет этого пробивное напряжение в свечах может отличаться на 1,5...2 кВ.

- В системах зажигания с накоплением энергии в емкости катушка зажигания выполняет функцию только повышающего импульсного трансформатора, ее габариты при этом могут быть значительно уменьшены. Это позволяет изготовлять индивидуальные катушки зажигания для каждой свечи в отдельности и монтировать их непосредственно на свечах. Для такой системы не нужны высоковольтные провода, которые являются источником радиопомех. Кроме того, исключается холостая искра. Вторичное напряжение несколько увеличивается и имеет только отрицательную полярность, что продлевает срок службы свечи зажигания.

Для микропроцессорных систем зажигания с накоплением энергии в индуктивности выпускаются индивидуальные одновыводные катушки зажигания с замкнутым магнитопроводом — так называемые трансформаторы зажигания (см. рис. 11.8).

- Катушки, работающие в составе современных электронных и микропроцессорных систем зажигания с накоплением энергии в индуктивности, обеспечивают высокие выходные характеристики:
  — максимальное вторичное напряжение до 35 кВ;
  — скорость его нарастания ≥700 В/мкс;

— суммарная длительность фаз искрового разряда 2,0...2,5 мс;

— энергия искрового разряда 80...100 мДж.

Высокий уровень вторичного напряжения и параметров искрового разряда способствует выполнению жестких требований, предъявляемых к современному автомобильному двигателю по экономичности и токсичности. Повышение скорости нарастания вторичного напряжения делает систему зажигания менее чувствительной к нагарообразованию на тепловом конусе искровой свечи. Однако при этом на 20...30% возрастает пробивное напряжение на свечах, что объясняется соизмеримостью времени формирования искрового разряда в свече со временем нарастания на ней вторичного напряжения. При большом запасе по вторичному напряжению это не принципиально.

Рис. 11.8.

Одновыводная катушка (трансформатор) зажигания:
а — отечественного производства для систем зажигания с накоплением энергии в индуктивности; б — производства фирмы BOSCH для систем зажигания с индуктивным накопителем; 1 — свеча зажигания; 2 — высоковольтный вывод; 3 — многосекционная вторичная обмотка W2; 4 — первичная обмотка W1; 5 — сердечник магнитопровода M; 6 — низковольтный вывод; 7 — наружная заливка полипропиленом; 8 — изоляционный каркас для вторичной обмотки.

11.5. Техническое обслуживание

Катушка зажигания — достаточно надежный аппарат электрооборудования автомобиля, поэтому ее техническое обслуживание сведено к минимуму.

- Прежде всего катушка должна быть чистой, как и другие высоковольтные элементы системы зажигания. Часто после мойки автомобиля наличие влаги на крышке катушки зажигания является причиной отказа пуска двигателя. Поэтому в тех случаях, когда влага может попасть в моторный отсек автомобиля (мойка, дождь, длительная стоянка при повышенной влажности воздуха), перед поездкой необходимо просушить или насухо обтереть высоковольтные элементы системы зажигания. Особое внимание следует обратить на вывод высокого напряжения катушки зажигания. Не вставленный до упора в гнездо катушки высоковольтный провод может привести к пробою изоляции, который обнаруживается по прогару крышки или выплавлению пластмассового покрытия (оболочки) корпуса. Если высоковольтный контакт в катушке почернел, но его изоляция не нарушена, контакт зачищают до блеска мелкой шкуркой, свернутой трубочкой. Таким же образом следует обработать наконечник высоковольтного провода. После зачистки убеждаются в плотной посадке провода в контактное гнездо. При необходимости надежность контакта достигается увеличением ширины прорези наконечника высоковольтного провода.

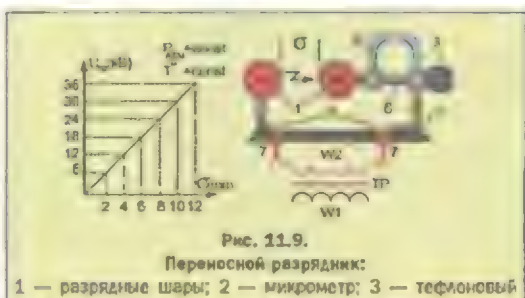


Рис. 11.9.

Переносной разрядник:
1 — разрядные шары; 2 — микрометр; 3 — тефлоновый лимб микрометра; 4 — изоляционная подставка; 5 — контактные гнезда для подключения высоковольтных проводов; 6 — измерительная шкала микрометра; 7 — высоковольтные соединительные провода разрядника; TP — двухвыводная катушка зажигания с первичной W1 и вторичной W2 обмотками; σ — измеряемый зазор между шарами; $U_{пр}$ — пробивное напряжение на выводах вторичной обмотки катушки зажигания.

Таблица 11.1

Системы зажигания	Тип катушки	Первичная обмотка: Сопротивление, Ом	Первичная обмотка: Индуктивность, мГн	Вторичная обмотка: Сопротивление, кОм	Вторичная обмотка: Индуктивность, Гн	Коэффициент трансформации	Сопротивление добавочного резистора, Ом	Применяемость
Батарейная	Б115В	1,5...1,7	7,3...7,8	6,1...6,8	32...35	58	0,5...1,0	ГАЗ, УАЗ, ЗАЗ, АЗЛК, ИЖ
	Б117А	3,1...3,4	10...11	[illegible]	44...45	76	без резистора	ВАЗ 2101...2107
Контактно-транзисторная	Б114Б	0,37...0,41	2,9...3,4	21...23	174...179	227	1,0...1,04	ГАЗ-3102
Транзисторная	Б116	0,70...0,8	5,4...5,8	15,5...18,5	96...111	150	1,0...1,04	ГАЗ-24-10, -11, ГАЗ-31029, ГАЗ-3302
Электронная РФ	27.3705	0,4...0,5	3,7...3,8	4,5...5,5	22...25	60	без резистора	ВАЗ-2108...-21099
Электронная, фирмы "Bosch"	0 221 122 022	0,52...0,76	2,0...3,2	2,4...3,5	18...20	60	без резистора	Audi 100, выпуск до 1986 г.
Микропроцессорная	29.3705*	0,45...0,55	4,1...4,4	11,0...12,5	27...29	90	без резистора	ВАЗ 21083, 21093, 2110
	3009.3705**	0,4...0,55	5,6...6,2	6,3...6,4	27...30	75	без резистора	

* Двухвыводная, с разомкнутым магнитопроводом (см. рис. 11.4). ** Двухвыводная с замкнутым магнитопроводом (см. рис. 11.5)

Обеспечение надежного крепления катушки к кузову автомобиля предупреждает появление механических повреждений и улучшает ее охлаждение. Кроме того, в контактно-транзисторных и транзисторных системах зажигания с катушками типа Б114, Б116, у которых обмотки имеют трансформаторную связь, предотвращается выход из строя силового транзистора коммутатора.

- Неисправность катушки классической конструкции можно обнаружить внешним осмотром с последующей проверкой ее работоспособности "на искру". Внешним осмотром могут быть найдены трещины и электрические прожоги на крышке вокруг высоковольтного вывода. Для проверки катушки "на искру" отсоединяют центральный высоковольтный провод от распределителя и располагают его на расстоянии 5...10 мм от корпуса двигателя. Затем стартером прокручивают коленчатый вал двигателя и наблюдают за искрообразованием в зазоре между наконечником высоковольтного провода и "массой". В контактной системе зажигания проверять искрообразование можно без вращения коленчатого вала. Для этого снимают крышку распределителя и устанавливают контакты прерывателя в замкнутое состояние. Затем, включив зажигание рычажком прерывателя или ротором распределителя, размыкают и замыкают контакты. Бесперебойное искрообразование свидетельствует об исправности катушки зажигания.

- Двухвыводные катушки зажигания микропроцессорных систем и электронных систем зажигания высокой энергии проверяют "на искру" с применением специального переносного разрядника (рис. 11.9). Это делается для того, чтобы не получить травму или не вывести из строя электронные приборы на автомобиле. С помощью разрядника можно достаточно точно измерить вторичное напряжение $U_{пр}$ на любой катушке зажигания. Размер зазора между шарами разрядника почти линейно зависит от приложенного к ним напряжения в момент появления искры (см. график на рис. 11.9).

При отсутствии искры в зазоре между корпусом двигателя и наконечником провода, отсоединенного от центрального вывода распределителя, или между электродами разрядника проверку катушки завершают измерением сопротивлений обмоток. Если измеренные значения сопротивлений соответствуют нормальным (см. табл. 11.1), а высоковольтной искры не возникает, то в катушке может иметь место высоковольтный (неконтролируемый простым способом) пробой изоляции между витками или на корпус. Такая неисправность может быть обнаружена только на специальном испытательном стенде. В любом случае катушка зажигания, в которой обнаружены неисправности, не ремонтируется и подлежит замене.

- В заключение следует отметить, что при написании настоящей главы использовалась, в основном, информация по отечественным катушкам зажигания. Что касается катушек зажигания импортных автомобилей, то они имеют очень схожие параметры и конструктивные показатели, так как рассчитываются и изготовляются по совершенно аналогичным принципам. Отсюда ясно, что замена импортных катушек зажигания отечественными возможна и вполне допустима. Следует только иметь ввиду, что катушки зажигания от разных типов систем зажигания не взаимозаменяемы, например, батарейная катушка зажигания не будет работать в электронной системе и наоборот — их параметры совершенно различны.

При замене катушки зажигания на ее место подбирают катушку со схожими рабочими параметрами, которые не должны отличаться более чем на 20...30%, а сами катушки должны иметь одинаковое конструктивное исполнение.

В табл. 11.1 в качестве примера желтой строкой выделены параметры взаимозаменяемых катушек зажигания.

Глава двенадцатая

ФАРЫ СОВРЕМЕННЫХ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Фронтальные фары современных легковых автомобилей исключительно разнообразны как по конструкции, так и по внешнему виду. Но их формы, размеры, цвет и светимость обязательно отвечают строгим международным правилам. С созданием новых моделей автомобилей с обтекаемой формой передней части кузова появилась необходимость в разработке и освоении выпуска новых конструкций фронтальных фар. Их описанию посвящена данная глава.

12.1. Универсальные автомобильные фары

Фара — это электрический фонарь в передней части автомобиля, предназначенный для освещения автодороги в темное время суток. Такой фонарь может быть выполнен как лампа-фара или как фара со сменной электролампой. В настоящее время наиболее распространены фары второго типа.

По функциональному назначению левая и правая фары совершенно идентичны, но их конструктивное исполнение неодинаково и поэтому они, как правило, не взаимозаменяемы.

• Прежде фары имели конструкцию простого однолучевого электрического фонаря, в состав которого входили сферический отражатель с зеркальным покрытием, круглое гладкое защитное стекло и обычная электролампа накаливания мощностью 20...30 Вт.

Позже, когда скорости движения автомобилей возросли до 100 км/ч и более, отражатели в фарах стали параболическими, а электролампы более мощными (до 100 Вт). Фронтальный свет стал более ярким, более узким и более "далеким", а значит, и более неблагоприятным (слепящим) для водителей встречного автотранспорта. Свет фар стали разделять на дальний и ближний.

В простом варианте для этого достаточно установить впереди автомобиля четыре фары — две для дальнего и две для ближнего освещения дороги. Фары ближнего света устанавливаются поближе к габаритным фонарям, а дальнего — к центру автомобиля.

Но четыре фары — это двойная цена за "правильный свет" и своеобразный дизайн передней части автомобиля. Не каждому покупателю это нравится.

• Были разработаны двухлучевые универсальные фары.

Первые из них оставались круглыми, но со временем круглые универсальные фары стали заменяться прямоугольными, которые отличаются лишь тем, что вертикальный размер их отражателя несколько усечен, а горизонтальный — увеличен.

В универсальной фаре используется одна электролампа, но с двумя нитями накаливания. Электронити помещаются в общую вакуумную колбу лампы и разносятся друг от друга на строго определенное расстояние. Этим достигается необходимое положение двух точечных источников света в параболическом отражателе фары относительно его оптического фокуса. Первая нить накаливания для дальнего света устанавливается в центральном фокусе отражателя и по оси свечения экранируется светонепроницаемым диском. Вторая электронить формирует направление луча ближнего света. И чтобы этот луч не слепил, его нужно наклонить вниз ниже уровня глаз водителя встречного транспорта, находящегося на удалении 50 м, а также отвести его в сторону правой обочины на некоторый угол. Осуществить такую переориентацию светового луча в универсальной фаре можно четырьмя способами (рис. 12.1):

а) Смещением нити накаливания из фокуса параболического рефлектора вперед (луч расширяется, см. рис. 12.1, а) и вверх (луч наклоняется вниз, см. рис. 12.1, б), а также влево (луч разворачивается вправо, см. рис. 12.1, в). С таким смещением нити ближнего света изготавливаются электролампы по американскому стандарту. Световое пятно от фары ближнего света на контрольном экране получается таким, как показано на рис. 12.2, а.

б) Смещением нити накаливания вперед с установкой под ней теневого экрана (луч, отраженный только от верхней части рефлектор, наклоняется вниз, см. рис. 12.1, г). Ранее этот способ применялся при изготовлении электроламп для симметричного ближнего света.

в) Срезом или разворотом левой части теневого экрана на угол $\alpha = 15°$ (световой луч раскрывается вниз и вправо, см. рис. 12.1, д). Такой способ формирования луча применяется в фарах асимметричного ближнего света по европейскому стандарту (рис. 12.2, б).

г) Наклоном или разворотом отражателя фары в нужном направлении. Переориентация отражателей фар реализуется с помощью корректора их положения. На рис. 12.3 показаны наиболее распространенные конструкции корректоров положения фар. Следует также отметить, что отражатель (рефлектор) совре-

менной автомобильной фары помещается за защитным фронтальным стеклом, которое используется как окончательный оптический корректор световых лучей.

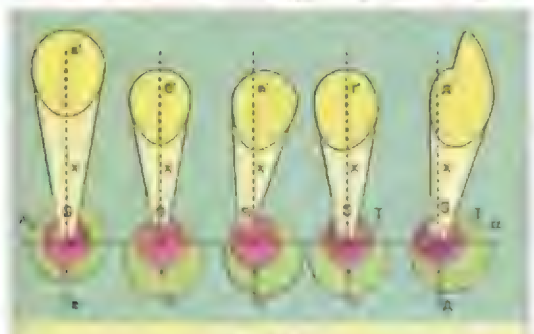


Рис. 12.1.

К пояснению способов формирования луча ближнего света:
А — луч при положении нити накаливания в фокусе отражателя (сфокусированный луч); а — луч расфокусирован осевым смещением нити вперед (для однонитевых фар старой конструкции); б — расфокусированный луч, смещенный вниз поднятием нити вверх; в — луч, смещенный вниз и вправо поднятием нити вверх и смещением влево (американский ближний свет); г — луч, смещенный вниз теневым экраном под нитью (симметричный ближний свет); д — луч, смещенный вниз и вправо усечением слева теневого экрана под асимметричной нитью (асимметричный европейский ближний свет); а', б', в', г', д' — световые пятна на дорожном полотне; О — оптическая ось параболического отражателя; Т — теневой экран под нитью накаливания; х — осевая линия отражателя; S — раскрыв луча; α – угол наклона экрана.

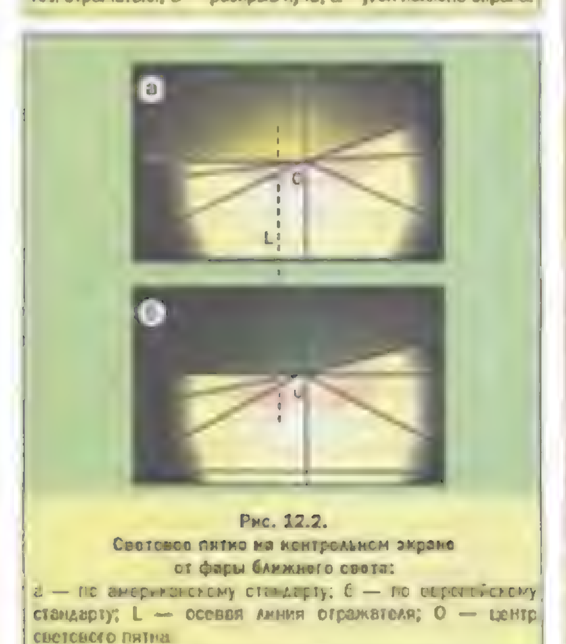


Рис. 12.2.

Световое пятно на контрольном экране от фары ближнего света:
а — по американскому стандарту; б — по европейскому стандарту; L — осевая линия отражателя; О — центр светового пятна

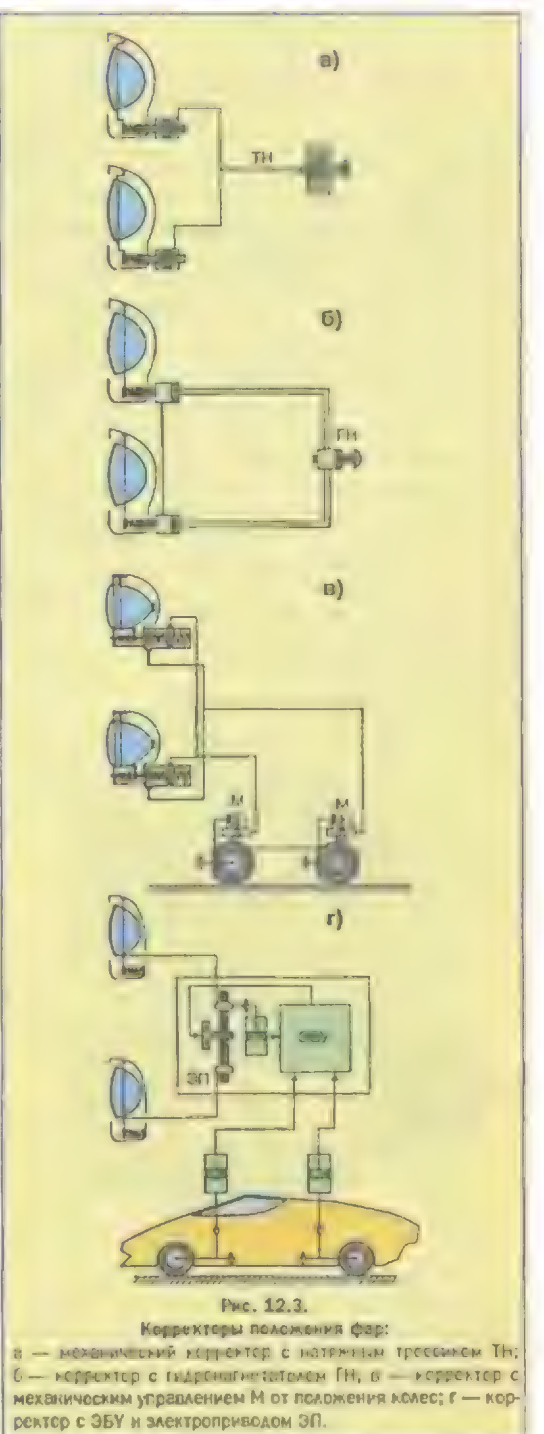


Рис. 12.3.

Корректоры положения фар:
а — механический корректор с натяжным тросиком ТН; б — корректор с гидронагнетателем ГН, в — корректор с механическим управлением М от положения колес; г — корректор с ЭБУ и электроприводом ЭП.

12.2. Специальные фары

Со временем легковые автомобили стали приобретать все более обтекаемую форму, чем достигалось уменьшение аэродинамического сопротивления движению на больших скоростях. Появились низкие "приземистые" автомобили, у которых передняя часть кузова (от бампера до капота) стала очень узкой, размещение фронтальных фар на которой стало сложной технической проблемой. Автомобилестроительные фирмы решают эту проблему по-разному.

- Есть системы фронтального освещения (например, на японских автомобилях "Mazda"; на американских — "Pontiac") с поднимающимися из крыльев фарами. Для подъема фар используется сервопривод. Система имеет то преимущество, что стекла фар большую часть времени защищены от воздействия абразивных частиц, мелких камней и дорожной грязи. Но из-за наличия фароподъемников система обладает недостаточно высокой эксплуатационной надежностью, кроме того поднимающиеся над крыльями фары являются некоторой помехой для обзора дороги.
- Другое решение предложила немецкая фирма Hella, которая разработала эллипсоидные фары фронтального света (рис. 12.4). В таких фарах устанавливается удлиненный эллипсоидный отражатель, который может иметь малый диаметр. Это позволяет монтировать фары в узкую полоску передней части обтекаемого автомобиля. Световой луч, сформированный эллипсоидным отражателем, корректируется системой параболических зеркал на отражателе и фиксируется оптической линзой. Окончательная коррекция светового луча реализуется оптикой защитного стекла. Эллипсоидные фары изготавливаются отдельно для дальнего и ближнего света.

Рис. 12.4.
Эллипсоидная фара "Hella":
1 — рассеивающая линза; 2 — передняя часть корпуса; 3 — задняя часть корпуса; 4 — однонитевая галогенная лампа; 5 — цоколь в ламподержателе; 6 — контактная фишка с проводом; 7 — корректирующий профиль отражателя; 8 — эллипсоидный (удлиненный) отражатель; 9 — линия разъема корпуса фары; 10 — корпус фары.

Недостатки таких фар — это сложная технология изготовления и, как следствие, высокая стоимость.

- Фирма Lucas (Англия) разработала специальную двухлучевую фару с гомофокальным отражателем. Это такой отражатель, в объемном пространстве которого объединены воедино несколько усеченных параболических отражателей с разными фокусными расстояниями, но фокусы которых помещены в общую фокальную точку. Гомофокальная фара может быть узкой, изогнутой и асимметричной по отношению к центральному направлению света. Это позволяет устанавливать ее на автомобиле с любой формой передней части кузова. Ее недостатки те же, что и у эллипсоидной фары, а также то, что для изготовления многопрофильного отражателя требуется специальная термостойкая пластмасса.
- Современные круглые и прямоугольные фары с двухнитевой электролампой и с общим отражателем для дальнего и ближнего света в настоящее время начинают устаревать. Дело в том, что луч дальнего света от универсальных фар имеет нежелательно широкий горизонтальный раскрыв, а луч ближнего света за счет теневого экранирования — жесткую контрастную границу перехода от затемненного к светлому участку (см. рис. 12.2, б). Такое освещение дороги нерационально.

Дальний свет скоростного автомобиля должен иметь узконаправленный, но дальнобойный луч, а ближний свет не должен иметь контрастной границы. Контрастность освещения дороги при высокой скорости движения автомобиля приводит к напряженному восприятию водителем дорожной ситуации. Глаза водителя быстро устают, а психика перенапрягается. Теперь разрабатываются фары с более рациональным фронтальным светом и имеющие современный внешний вид.

12.3. Многофункциональные фары

Создавать фронтальные фары с малым размером по высоте и с эффективной светоотдачей можно с применением длинных эллипсоидных отражателей. Такие отражатели позволяют делать однолучевые фары, как ближнего, так и дальнего света, малогабаритными и помещать их за общим защитным стеклом. Получается моноблок фронтального света. Желание иметь на автомобиле моноблочную конструкцию фары продиктовано не только современным дизайном, но и необходимостью промывать и очищать защитное стекло на ходу автомобиля. Ясно, что это проще реализовать на стекле моноблока.

В моноблоке размещаются не только фары, но и все остальные фронтальные фонари (габаритные огни, противотуманные фары, указатели поворотов). Таким образом, сам моноблок теперь ста-



Рис. 12.5.
Тройная фара "Bosch"

новится многофункциональной передней фарой. Такие фары в последнее время находят широкое применение.

• Немецкая фирма BOSCH предложила так называемую тройную фару (рис. 12.5), которая объединяет в себе функции дальнего, ближнего, стояночного и противотуманного света. Сбоку к такой фаре "пристегивается" или устанавливается непосредственно в моноблоке фонарь указателя поворота. Начиная с 1994 года такие фары (несколько измененных конструкций) устанавливаются на автомобилях "Volkswagen", "Audi", "Opel".

Особенностью многофункциональных фар является то, что каждый из фронтальных фонарей имеет свой собственный, отдельный от других, оптический отражатель. Здесь больше не используются двухнитевые электролампы, а каждый отражатель рассчитан с помощью компьютера таким образом, чтобы наиболее полно соответствовать назначению данного фонаря.

Отражатель в фонаре ближнего света выполнен в виде разнопрофильных зеркал, каждое из которых ориентировано в нужном направлении. Это позволяет использовать всю поверхность отражателя (а не половину, как в обычных универсальных фарах) и отказаться от теневого экранирования. При этом ослепление встречного водителя уменьшается на 30%, а яркость освещения дороги увеличивается на 20%. Для многофункциональных фар разработана новая галогенная однонитевая электролампа H7 (фирма HELLA). Эта лампа более надежна, так как потребляет меньше электроэнергии (45 Вт), чем ее прототип — лампа H1 (55 Вт).

В описываемой тройной фаре лампа H7 используется для дальнего и ближнего света. В фонаре противотуманного света установлена лампа H1 прежней конструкции.

• Для автомобилей высокого потребительского класса многофункциональные фары изготавливаются с применением всех известных способов повышения эффективности фронтального освещения. Фирма BOSCH выпускает новые фарные моноблоки "Litronic" (Litronic — в переводе с нем. означает "свет с электронным управлением"). Внешний вид моноблока показан на рис. 12.6. В его конструкцию входят:

а) фонарь дальнего света с галогенной лампой 6 типа H7 (45 Вт) или HB3 (60 Вт) и со сплющенным параболическим отражателем 9;

б) фонарь ближнего света 4 с газоразрядной лампой 5 типа D2S (35 Вт), с эллипсоидным малогабаритным отражателем и с рассеивающей линзой;

в) противотуманный фонарь с галогенной лампой H3, с миниатюрным параболическим отражателем и с рассеивающей линзой;

г) лампа 10 габаритного огня (5 Вт), установленная в отражателе 9 дальнего света;

д) фонарь 1 указателя поворотов, который установлен на корпусе 8 фары сбоку и закреплен специальными пластмассовыми замками;

е) корректор положения блока отражателей с электронно-управляемым электроприводом (поз. 13);

ж) съемное защитное стекло 3 с корректирующей оптикой для ближнего и без оптики для дальнего света (устанавливается в пластмассовом корпусе 8 моноблока на пружинных фиксаторах).

Фары "Litronic" имеют несколько модификаций. Так, фара "Litronic-Bosch" 0 301 047 202, блок отражателей которой показан на рис. 12.7, разработана специально для автомобиля "Audi-A8". Она снабжена

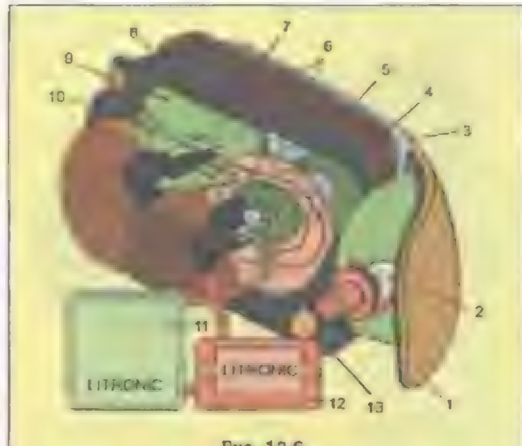


Рис. 12.6.
Многофункциональная фара "Litronic":
1 — фонарь правого указателя поворота; 2 — лампа фонаря (21 Вт); 3 — защитное (фронтальное) стекло моноблока; 4 — эллипсоидный отражатель фонаря ближнего света; 5 — газоразрядная лампа (35 Вт); 6 — галогенная лампа (45 Вт); 7 — резиновое обрамление защитного стекла; 8 — пластмассовый корпус моноблока; 9 — параболический отражатель фонаря дальнего света; 10 — лампа габаритного огня (5 Вт); 11 — электронное устройство управления; 12 — высоковольтный блок зажигания для газоразрядной лампы; 13 — установочное место для корректора положения отражателей.

корректором положения отражателей, электронным блоком управления и прибором высоковольтного зажигания для газоразрядной лампы (см. рис. 12.6). Эти устройства устанавливаются для каждой фары в отдельности на ее пластмассовом корпусе.

- Газоразрядная лампа — это новый компонент в современной фаре.

Светоотдача газоразрядной лампы в три раза выше по сравнению с галогенной лампой той же мощности.

Очень интересным и важным новым качеством фонаря ближнего света на газоразрядной лампе является тот факт, что он излучает свет, близкий к спектру солнечного луча. Такой свет позволяет формировать с помощью многопрофильного отражателя световое пятно на автодороге без контрастной границы перехода от светлого к темному.

Это делает фару ближнего света еще более совершенной, так как активная безопасность движения автомобиля в ночное время повышается.

Все составные компоненты фары " Litronic" (защитное стекло, электролампы, электронный блок управления и коррекции, прибор зажигания) можно заменять по отдельности и переставлять из одной фары (кроме стекла) в другую.

- В самое последнее время для многофункциональных фар разработан фронтальный фонарь дальнего света с применением стекловолоконной оптики. Одна из возможных конструкций такого фонаря показана на рис. 12.8.



Рис. 12.7.
Блок отражателей фары "Litronic" для автомобиля "Audi-A8":
1 — фара ближнего света (БС); 2 — опора для водила корректора положения блока отражателя; 3 — направляющая для винта ручной подстройки положения блока отражателя; 4 — эллипсоидный отражатель фары БС; 5 — держатель газоразрядной лампы; 6 — литье основания (силумин); 7 — патрон галогенной лампы для фары дальнего света (ДС); 8 — вентиляционная щель для галогенной лампы ДС; 9 — параболический многопрофильный (гомофокальный) отражатель фары ДС из термостойкой пластмассы; 10 — многопрофильное покрытие зеркального отражателя фары ДС; 11 — корректирующие поверхности отражателя ДС; 12 — фара противотуманного и дополнительного дальнего света; 13 — фиксирующая линза фары 12; 14 — рассеивающая линза фары БС.



Рис. 12.8.
Фонарь дальнего света со световодом:
1 — корпус фонаря; 2 — поворотная опора для световода; 3 — световод (стекловолоконный жгут); 4 — электролампа; 5 — блок оптических линз, формирующих световой луч; 6 — линза торца световода; 7 — фиксатор опоры; 8 — входная апертура световода.

Торец световода полируется по форме рассеивающей линзы 6, и рефлектор отражателя практически не нужен. Это позволяет делать фару очень малых размеров (с диаметром менее 50 мм). Второй особенностью фонаря со стекловолоконным жгутом 3 является то, что электролампа 4 находится вне объема корпуса 1 фары. Теперь корпус, отражатель, рассеивающая линза, защитное стекло и все прочие детали фары могут изготовляться из пластмассы. Малые размеры позволяют создавать многофункциональные моноблоки фронтальных фар любой конфигурации, а расположенная вне отражателя фары электролампа более не является источником теплового излучения.

Использование в стекловолоконном фонаре газоразрядной электролампы делает луч дальнего света наиболее оптимальным.

12.4. Электролампы для автомобильных фар

До недавнего времени в качестве источника света в автомобильных фарах применялись только электролампы с нитью накаливания. Самые простые из них — лампы с одной нитью в колбе силикатного стекла, из которой откачан воздух. Нить накаливания изготавливается в виде спирали, навитой из вольфрамовой проволоки. Концы нити привариваются микросваркой к фиксирующим стойкам из никеля, которые одновременно являются электрическими выводами.

Основным светотехническим параметром любой электролампы является так называемая световая отдача, которая характеризует фотометрический КПД лампы. Светоотдача измеряется в люменах свето-

го потока, приходящихся на один ватт электрической мощности, потребляемой лампой. Светоотдача вольфрамовой нити накаливания, помещенной в вакуумную колбу из силикатного стекла, не превышает 20 лм/Вт.

- В настоящее время обычные лампы накаливания применяются в основном в сигнальных наружных фонарях мощностью не более 25 Вт. В современных универсальных фарах устанавливаются двухнитевые электролампы (рис. 12.9). Их принципиальное отличие от маломощных ламп для сигнальных фонарей состоит в том, что обе нити накаливания устанавливаются с очень высокой точностью по отношению к фиксатору на цоколе. Этим обеспечивается необходимое для универсальных фар строго определенное положение нитей в оптическом отражателе фары.

- Самыми эффективными из ламп с нитью накаливания являются так называемые галогенные лампы. Галогенная лампа (рис. 12.10) — это миниатюрная кварцевая цилиндрическая колба 7 (диаметр 10...17 мм, высота 16...34 мм), наполненная инертным газом в смеси с парами галогена, в их среду помещена вольфрамовая нить (или нити 3 и 4) накаливания. В таком случае светоотдача вольфрамовой нити может быть повышена. В обычной лампе накаливания вольфрам, испаряясь с поверхности нити при высокой температуре, оседает на внутренней стенке стеклянной колбы, что делает ее менее прозрачной и нарушает теплообмен колбы с окружающим воздухом. Срок службы лампы быстро сокращается, и она перегорает. В галогенной лампе имеет место возвратный цикл, за счет которого вольфрам, осевший на стенках колбы, возвращается обратно на нить накаливания. Значительного затемнения стекла не происходит на протяжении всего срока службы лампы. Для поддержания возвратного цикла температура нити должна быть не менее 1400°С, а температура колбы не ниже 700°С. При этом расстояние от нити до стенки колбы должно быть минимальным. Этим объясняются малые размеры галогенной лампы и изготовление ее колбы из кварцевого стекла. Переносчиком вольфрама в возвратном цикле может быть любой галоген, обычно йод или бром, или их соединения. Механизм переноса заключается в следующем. Сначала пары галогена, например, йода, вступают в высокотемпературную химическую реакцию с тонкопленочным вольфрамом, осевшим на колбе. Образуется йодистый вольфрам WI_2, который тут же испаряется с горячей поверхности стекла. Соприкасаясь с сильно разогретой вольфрамовой нитью, йодистый вольфрам снова разлагается на пары йода и вольфрам. Пары йода возвращаются к менее нагретой поверхности колбы, а вольфрам оседает на более горячей поверхности нити накаливания. Описанный возвратный цикл защищает нить накаливания от перегорания, что позволяет повысить ее рабочую температуру до 3500°С. Светоотдача лампы увеличивается более чем в полтора раза (до 30...35 лм/Вт). В этом заключается главное преимущество галогенных ламп.

Однако галогенная лампа по продолжительности безотказной работы не превосходит обычные лампы накаливания. Это объясняется тем, что возвратный цикл в галогенной лампе используется не для продления срока ее службы, а для увеличения яркости свечения. И хотя вольфрам нити накаливания в возвратном цикле частично восстанавливается, но продолжительность наработки на отказ не увеличивается.

Рис. 12.9.
Двухнитевая лампа автомобильной фары:
1 — электрический контакт; 2 — установочный диск; 3 — нить дальнего света; 4 — теневой экран; 5 — нить ближнего света; 6 — колба лампы; 7 — цоколь.



Рис. 12.10.
К пояснению устройства и формирования направления световых лучей в двухнитевой кварцевой галогенной электролампе:
1 — электроконтакт; 2 — установочный диск цоколя; 3 — электронить дальнего света; 4 — электронить ближнего света; 5 — теневой экран; 6 — теневой колпачок; 7 — кварцевая колба; 8 — цоколь; 9 — отражатель фары; а — наклонные лучи ближнего света; б — прямые лучи дальнего света.

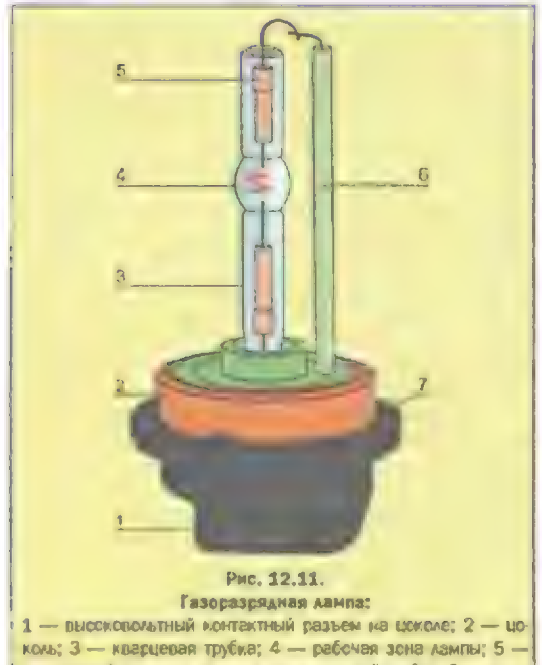


Рис. 12.11.
Газоразрядная лампа:
1 — высоковольтный контактный разъем на цоколе; 2 — цоколь; 3 — кварцевая трубка; 4 — рабочая зона лампы; 5 — стержневой электрод лампы в керамической трубке; 6 — высоковольтный токовод в керамическом изоляторе; 7 — фиксатор.

При этом галогенная лампа стоит намного дороже обычной. Это является главным ее недостатком. Второй недостаток — высокая температура колбы, чем ограничивается использование галогенных ламп в пластмассовых фонарях.

Галогенные, как и обычные электролампы с нитью накаливания, могут быть однонитевыми или двухнитевыми. В последнем случае нити дальнего и ближнего света устанавливаются так, как показано на рис. 12.10. Расположением нитей формируются лучи дальнего и ближнего света в универсальной (двухлучевой) фаре.

• Свободными от недостатков, присущих галогенным лампам, оказались электродуговые газоразрядные лампы. Конструкция газоразрядной лампы, которую выпускает фирма BOSCH, показана на рис. 12.11. Электродуговая лампа не имеет нити накаливания, чем объясняется исключительно продолжительный срок ее службы (более срока службы самого автомобиля). Стержневые электроды 5 лампы помещены в продолговатую кварцевую трубку 3 с шарообразной центральной частью 4. Объем центральной части 0,7...0,9 см^3. Трубка наполнена инертным газом ксеноном. Ксенон выбран не случайно — его спектр свечения белый, со слабым зелено-голубым оттенком. Такой свет наиболее эффективен, так как он близок к спектру солнечных лучей. Электродные стержни лампы покрыты специальными галогенными соединениями (галогенидами), которые защищают электроды от выгорания в электрической дуге. В данной лампе восстанавливается не металл (как вольфрам в обычной лампе), а галогенидовое покрытие на торцах электродных стержней. Такие лампы потребляют меньше электроэнергии, а значит, меньше нагреваются и при этом обладают большей светоотдачей (до 90 лм/Вт). Так, газоразрядная лампа на 35 Вт светит ярче галогенной (на 55 Вт) — в два раза. Основной недостаток газоразрядной лампы — это инерционность ее возгорания, что совершенно недопустимо в автомобильных фарах. Чтобы газоразрядная лампа загоралась быстрее, на нее приходится подавать высокое (15...30 кВ) напряжение зажигания. Происходит кратковременный высоковольтный искровой разряд при токе 2,5...3 А, и между электродами лампы мгновенно возникает электрическая дуга. Далее электронный блок управления устанавливает в дуге ток 0,35...0,45 А и лампа начинает работать устойчиво от преобразователя напряжения 100 В/400 Гц при напряжении бортсети автомобиля 12 В. Газоразрядная лампа допускает импульсный режим работы, что удобно при реализации мощных световых спецсигналов. Если напряжение в бортсети резко падает, газоразрядная лампа может погаснуть, но тут же зажигается вновь от электронного устройства зажигания.

Необходимость применения высоковольтного зажигания является существенным недостатком при эксплуатации газоразрядных ламп.

Во-первых — это повышенная опасность для человека.

Внимание! При вскрытии фары с газоразрядной лампой необходимо соблюдать меры техники безопасности!

Во-вторых, электрическая дуга является интенсивным источником высокочастотных радиопомех.

В-третьих, высокое напряжение требует применения высококачественных изоляционных материалов для цоколя лампы и для ламподержателя. И хотя сама лампа как источник света достаточно надежна, но ее наружные соединения и высоковольтные контакты потенциально содержат угрозу электроискрового пробоя изоляции. Лампа при этом выходит из строя.

В-четвертых, стоимость газоразрядной лампы в комплекте с электронным устройством управления и зажигания значительная.

В настоящее время газоразрядные лампы применяются в фарах только для автомобилей высокого потребительского класса.

• Справочная информация [7] по фарным 12-ти вольтовым электролампам различной конструкции сведена в табл. 12.1, и их внешний вид показан на рис. 12.12. При необходимости заменить электролампу в фаре следует иметь в виду следующее. Поч-

Таблица 12.1

№ п/п	Техническое описание и целевое назначение электролампы	Категория (тип) по ЕЭК	Обозначение по ГОСТ 2023-88	Тип ИС и обозначение по ЕЭК R37	Внешний вид (см. рис. 12.12)
1	[illegible]	R1	[illegible]	[illegible]	№1
2	[illegible]	R2	[illegible]	[illegible]	№2 (см. рис. 12.8)
3	[illegible]	H1	[illegible]	[illegible]	№3
4	[illegible]	H2	Аналога нет	[illegible]	№4
5	[illegible]	H3	[illegible]	[illegible]	№5
6	[illegible]	H4 H4	[illegible] Аналога нет	[illegible] [illegible]	№6
7	[illegible]	H4/TV	Аналога нет	[illegible]	№7 (см. рис. 12.10)
8	[illegible]	H7	Аналога нет	[illegible]	№8
9	[illegible]	HB3	Аналога нет	[illegible]	№9
10	[illegible]	HB4	Аналога нет	[illegible]	№10
11	[illegible]	D1S	Аналога нет	[illegible]	№11
		D2S	Аналога нет	[illegible]	№12 (см. рис. 12.11)
		D2R	Аналога нет	[illegible]	—"—

[illegible]

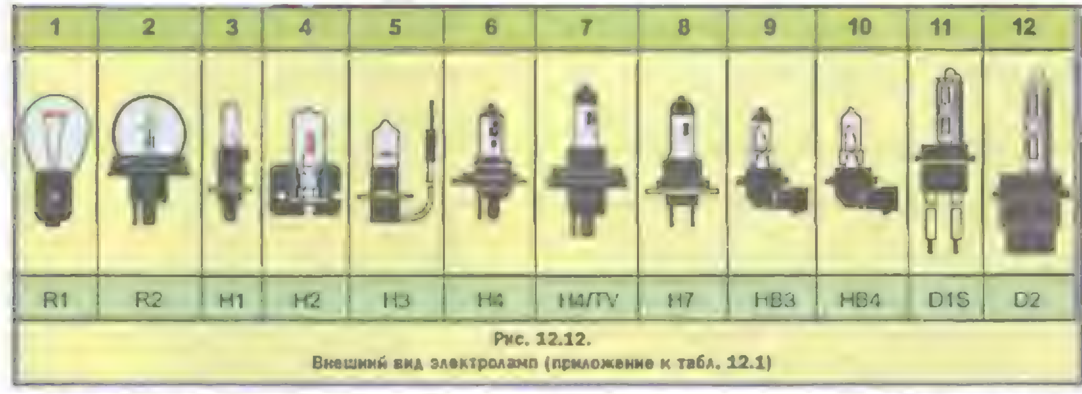


Рис. 12.12. Внешний вид электроламп (приложение к табл. 12.1)

ти все фарные электролампы разрабатываются с ориентацией на вполне определенный тип фары. Это означает, что цоколь лампы и его установочное крепление могут быть различными даже для одинаковых по мощности и конструкции электроламп. С другой стороны, лампы с совершенно различными электрическими и размерными параметрами могут иметь одинаковое установочное крепление. Международные европейские правила и нормы ЕЭК R37 (Электролампы) не рекомендуют заменять лампы в фарах на лампы непредусмотренного типа, т.е. определенному типу фары должна соответствовать вполне конкретная категория (тип) электролампы.

В заключение следует отметить, что следующим шагом на пути совершенствования источника света для автомобильных фар может стать малогабаритный излучатель монохроматического поляризованного света.

Глава тринадцатая

МЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ВПРЫСКА ТОПЛИВА ДЛЯ БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ (ГРУППА "К")

Самой распространенной автотронной системой на борту современного легкового автомобиля является система впрыска топлива. Такие системы по конструктивному устройству исключительно разнообразны. Но все они работают по общему принципу — с распылением топлива под давлением в поток всасываемого воздуха. При этом и количество топлива, и количество воздуха постоянно контролируется и дозируется, чтобы их соотношение в топливовоздушной смеси, поступающей в цилиндры двигателя, было бы наиболее оптимальным на всех режимах работы. Это обеспечивает двигателю значительную экономию топлива, улучшение его динамических параметров и характеристик, уменьшение выброса токсичных веществ с выхлопными отработавшими газами. Последующие одиннадцать глав (с 13 по 23) посвящены описанию самых разнообразных систем впрыска бензина и их компонентов*.

13.1. Предварительные замечания

Топливное питание бензиновых двигателей на современных легковых автомобилях реализуется с применением систем впрыска. Эти системы по принципу действия принято подразделять на пять основных групп (рис. 13.1): K, Mono, L, M, D.

13.2. Преимущества систем впрыска

Топливовоздушная смесь (ТВ-смесь) подается от карбюратора к цилиндрам двигателя внутреннего сгорания (ДВС) по длинным трубам впускного коллектора. Длина этих труб к различным цилиндрам двигателя неодинакова, а в самом коллекторе имеет место неравномерность нагрева стенок даже на полностью прогретом двигателе (рис. 13.2). Это приводит к тому, что из однородной ТВ-смеси, созданной в карбюраторе, в разных цилиндрах ДВС образуются неодинаковые топливовоздушные заряды. Как следствие, двигатель не отдает расчетную мощность, теряется равномерность крутящего момента, расход топлива и количество вредных веществ в выхлопных газах увеличиваются. Бороться с этим явлением в карбюраторных двигателях очень сложно. Следует также отметить, что современный карбюратор работает на принципе пульверизации, при которой распыление бензина происходит в струе всасываемого в цилиндры воздуха. При этом образуются достаточно крупные капли топлива (рис. 13.3, а), что не обеспечивает качественного перемешивания бензина и воздуха. Плохое перемешивание и крупные капли облегчают оседание бензина на стенках впускного кол-

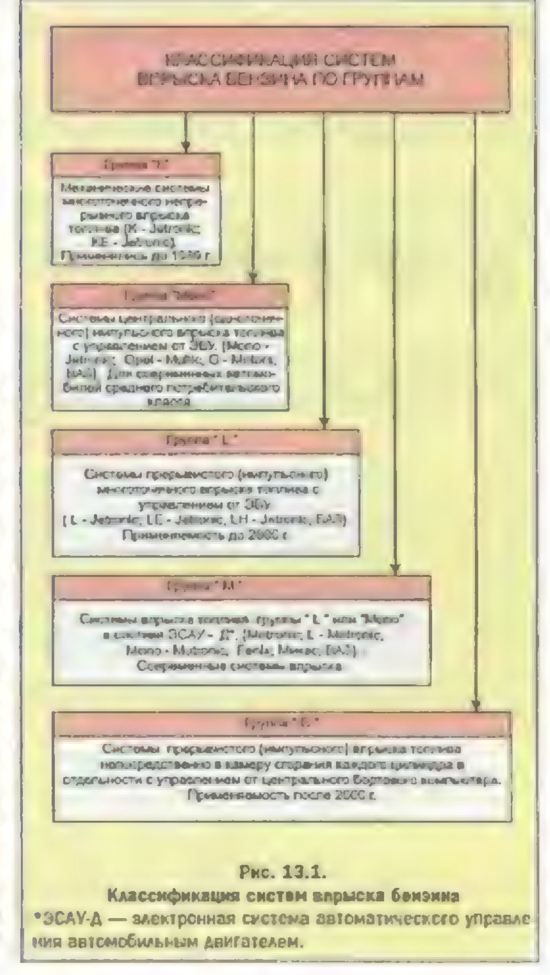


Рис. 13.1.
Классификация систем впрыска бензина
*ЭСАУ-Д — электронная система автоматического управления автомобильным двигателем.

**Перед прочтением глав с описанием автотронных систем впрыска и их компонентов целесообразно ознакомиться с работой двигателя внутреннего сгорания (ДВС), как с объектом автоматического управления [17, 18] (см. Приложение).*

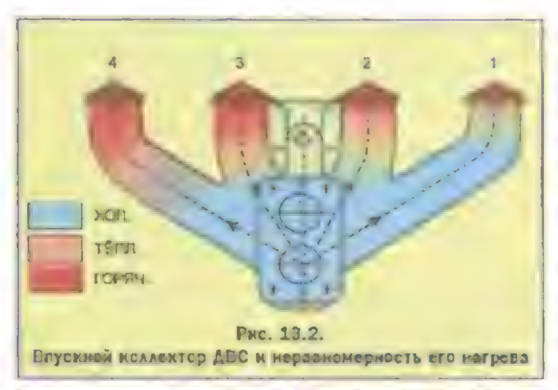


Рис. 13.2.
Впускной коллектор ДВС и неравномерность его нагрева



Рис. 13.3.
Факелы распыления бензина:
а — карбюратором (капли 100...120 мкм); б — центральной форсункой под давлением 1,1 бар (капли 50...60 мкм); в — клапанной форсункой закрытого типа под давлением 5,2 бар (капли 20...30 мкм).

лектора и на стенках цилиндров во время всасывания ТВ-смеси. Но при принудительном распылении бензина под давлением через калиброванное сопло форсунки частицы топлива могут иметь значительно меньшие размеры по сравнению с распылением бензина при пульверизации (рис. 13.3, б). Особенно эффективно бензин распыляется узким пучком под высоким давлением (рис. 13.3, в).

Установлено, что при распылении бензина на частицы диаметром менее 10...15 мкм его перемешивание с кислородом воздуха происходит не как взвешивание частиц, а на молекулярном уровне. Это делает ТВ-смесь более устойчивой к воздействию перепадов температуры и давления в цилиндре и длинных трубах впускного коллектора, что способствует более полному ее сгоранию. При этом, помимо качественного распыления и эффективного перемешивания бензина с воздухом, легко получать более высокую точность их дозирования в ТВ-смеси на всех возможных режимах работы ДВС.

Таким образом, за счет применения системы топливного питания с впрыском бензина двигатели современных легковых автомобилей не имеют недостатков, присущих карбюраторным двигателям, т.е. они более экономичны, обладают более высокой удельной мощностью, поддерживают постоянство крутящего момента в широком интервале частот вращения, а выброс вредных веществ в атмосферу с отработавшими газами минимален.

13.3. Общие сведения о механических системах впрыска бензина

Механические системы впрыска бензина известны давно. Еще в конце тридцатых годов они применялись в самолетных системах топливного питания. Это были системы впрыска бензина дизельного типа с топливным насосом высокого давления (ТНВД) и с закрытыми форсунками для каждого цилиндра в отдельности (см. главу 18). При попытке установки на автомобиль такие системы не выдержали конкуренции с карбюраторами из-за значительной сложности и высокой стоимости, продолжительность наработки на отказ также оказалась недостаточной. На автомобиль система впрыска бензина низкого давления была впервые установлена западно-германской фирмой MERSEDES в 1949 году (на легковом автомобиле "Mersedes-S300") и превзошла карбюраторную систему топливного питания по всем эксплуатационным показателям. С тех пор идея впрыска бензина для автомобильных ДВС стала активно разрабатываться многими западными фирмами.

Наиболее удачной, с точки зрения стоимости и эксплуатационной надежности, оказалась механиче-

ская система "K-Jetronic" фирмы BOSCH (ФРГ). Эта система была освоена серийным производством в 1951 году и получиле широкое внедрение почти на всех марках европейских автомобилей.

Название системы "K-Jetronic" составлено из трех сокращений: К — от нем. kontiniuerlich (непрерывность); jet — от англ. (струя); ronic — традиционное окончание современных технических терминов. Со временем в группу "К" стали включаться все системы непрерывного впрыска бензина.

По рекламным данным фирмы BOSCH, различных механических систем впрыска группы "К" с 1951 г. по 1989 год выпущено более 50-ти миллионов. С 1989 года системы впрыске группы "К" на новых моделях автомобилей не устанавливаются, им на смену пришли системы впрыска бензина с электронным управлением электромагнитными форсунками (см. главы 14...19). Но дочерние предприятия фирмы BOSCH до сих пор продолжают выпуск компонентов механических систем на запчасти.

На территории бывшего СССР эксплуатируется около 150 тысяч импортных автомобилей выпуска до 1989 года, значительная часть из которых оборудована механическими системами впрыска.

Система "K-Jetronic" устанавливалась на следующих автомобилях:

"AUDI": "Corpe"; 80; 90; 100; 100 Turbo; Quattro; Turbo Quattro.

"BMW": серии 318; 320; 518; 520.

"FERRARI": все модели, кроме T-348.

"FORD": Capri; Escort; Orion; Granada; Sierra.

"LANCIA": Thema.

"MERCEDES": серии 190; 230; 260; 280; 300; 350; 380; 420; 450; 500; 560.

"PEUGEOT": серии 504; 505; 604.

"PORSCHE": серии 911; 930; 924; 294 Turbo.

"RENAULT": R5 Turbo; R25 V6, Turbo; R30 TX.

"SAAB": серии 99; 900.

"VOLVO": серии 142; 144; 145; 240; 242; 244; 262; 264; 265; 740; 760i.

"VOLKSWAGEN": Golf GTI; Jetta GT; Passat GLI; Santana; Scirocco GTI.

13.4. Функциональные модели механических систем впрыска

Система топливного питания, в которой бензин подается к форсункам закрытого типа под небольшим давлением (не более 8 бар), представляет собой механическую систему непрерывного впрыска.

На рис. 13.4 представлена функциональная модель такой системы для одноцилиндрового двигателя.

Бензин из бензобака (ББ) с помощью электробензонасоса (ЭБН) нагнетается в замкнутое топливное кольцо (ЗТК), в которое входят: прямая бензомагистраль (ПБМ), подпорный накопитель топлива (ПНТ), фильтр тонкой очистки (ФТО), рабочие каналы дозатора-распределителя топлива (ДРТ) и обратная бензомагистраль ОБМ (на рис. 13.4 замкнутое топливное кольцо окрашено в розовый цвет). Рабочее давление (6 бар) бензина в ЗТК устанавливается и поддерживается постоянным клапаном обратного давления (КОД), за которым начинается обратная бензомагистраль (ОБМ).

К рабочей форсунке закрытого типа (РФЗ) бензин подается по каналу (РК) под изменяющимся давлением (от 3,5 до 6 бар), величина которого управляется мембранным дифференциальным клапаном (ДК) с поршне-щелевым вентилем (ПЩВ). Сам вентиль ПЩВ, включающий в себя поршень У и калиброванную щель КЩ, с одной стороны управляется расходомером воздуха РВ (через систему рычагов P-Z-ОТ), а с другой (со стороны полости Х) — регулятором управляющего давления (РУД) и дроссельным жиклером (ДЖ).

Дозирование и распределение бензина в этой системе происходит в дозаторе-распределителе (ДРТ), а распыление — клапанной форсункой (РФЗ) закрытого типа. Дозатор-распределитель является гидравлическим формирователем впрыска. Воздух (В) через воздушный фильтр (ВФ) и пневмомеханический расходомер воздуха (РВ) с воздушной заслонкой (ВЗР) расходомера поступает во впускной коллектор (ВК) с клапаном дополнительной подачи воздуха (КДВ) в байпасном канале (БК) с дроссельной заслонкой (ДЗ) и далее в предклапанную колбу (миксерную зону) впускного коллектора (МЗК) за счет поршневого всасывания, когда впускной клапан двигателя (ВКД) открыт. В системе, в основном, реализуется внешнее смесеобразование и частично — внутреннее.

На рис. 13.5 показана модель механической системы непрерывного впрыска с распределением бензина по четырем цилиндрам ДВС. Когда бензин из замкнутого топливного кольца (см. рис. 13.4) под давлением около 6 бар по прямому бензопроводу 1 поступает в дозатор-распределитель 2 (ДРТ), то поток топлива внутри распределителя растекается по рабочим каналам, число которых равно числу цилиндров ДВС (на рис. 13.5 поз. 3, 4, 5, 6).

Каждый рабочий канал заканчивается закрытой клапанной форсункой РФЗ (на рис. 13.5. позиции a, b, c, d). Внутри каждой закрытой форсунки (см. главу 22) имеется подпружиненный запорный золотник, который открывается только при определенном давлении (3,2 бар) и тем самым способствует интенсивному распылению бензина через сопло форсунки.

Так как рабочее давление бензина в дозаторе-распределителе (около 6 бар) выше, чем давление срабатывания (открывания) форсунки (3,2 бар), то можно считать, что все форсунки при работе двигателя практически всегда открыты. Однако надо помнить, что реальные форсунки могут работать и в вибрационном режиме за счет противодействия

возвратной пружины запорного клапана форсунки. При этом бензин веерообразно распыляется в предклапанные миксерные зоны (колбы) №1, №2, №3, №4 впускного коллектора (К) — сразу во все одновременно.

Впрыснутый в предклапанные колбы бензин предварительно, еще до всасывания, испаряется от соприкосновения с горячими клапанами, и пары бензина перемешиваются с воздухом, образуя богатую топливовоздушную смесь по способу внешнего смесеобразования.

Когда один из впускных клапанов открывается (в том цилиндре, в котором начинается такт впуска), в рабочий объем цилиндра всасывается свежий воздух и вся богатая ТВ-смесь из предклапанной колбы данного цилиндра. При этом через открытый впуск-

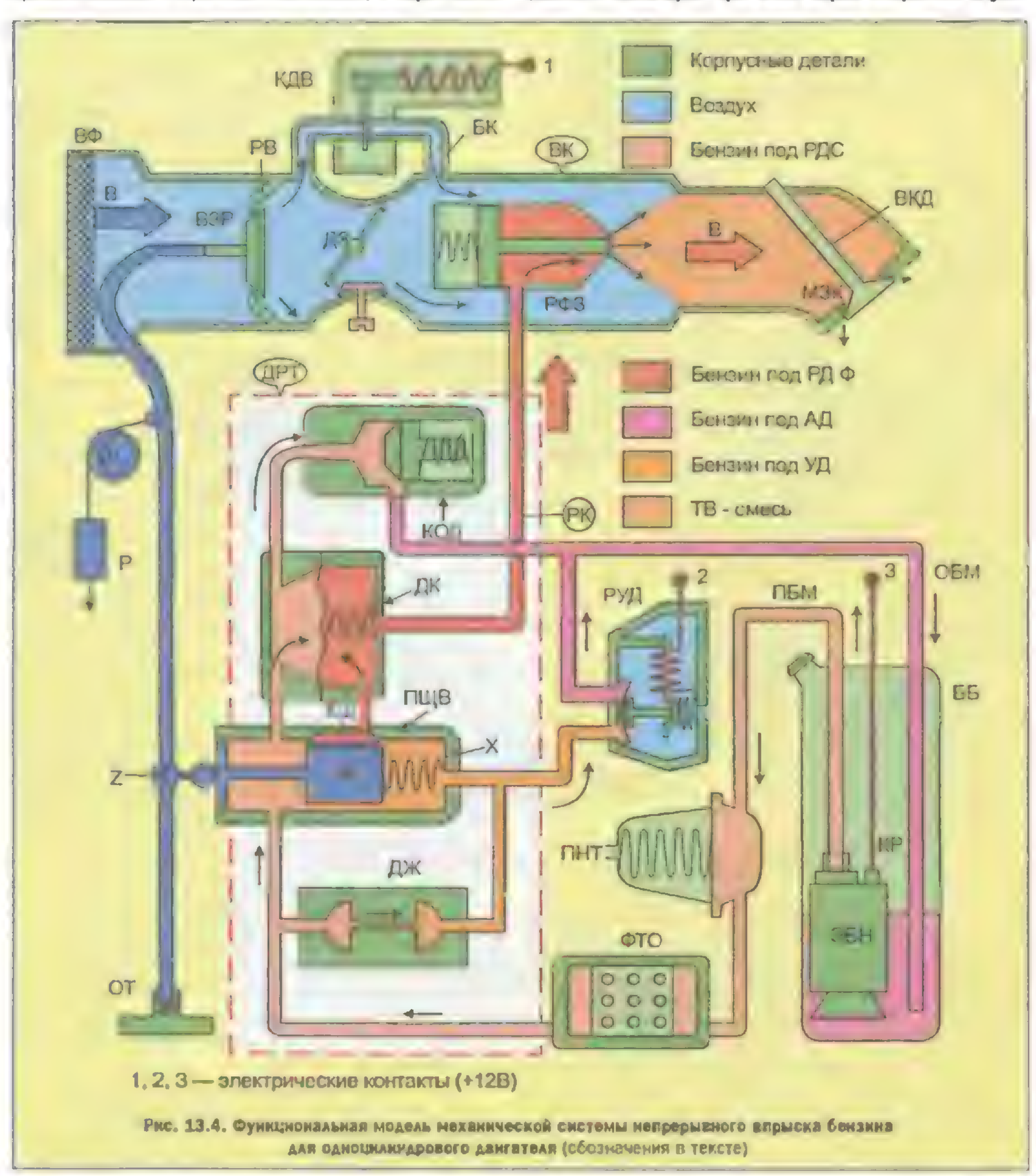


Рис. 13.4. Функциональная модель механической системы непрерывного впрыска бензина для одноцилиндрового двигателя (обозначения в тексте)

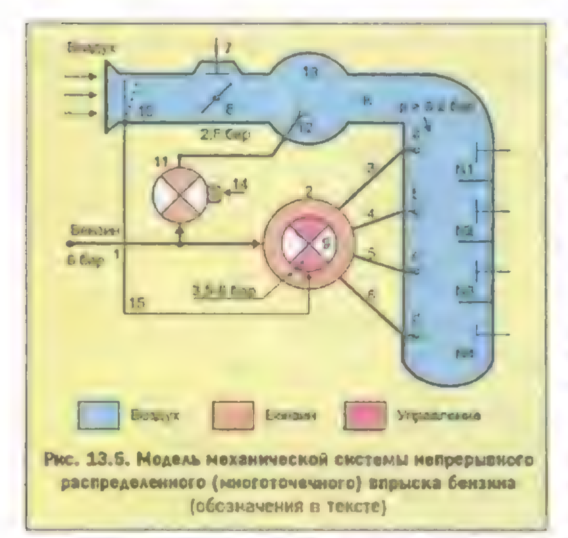


Рис. 13.5. Модель механической системы непрерывного распределенного (многоточечного) впрыска бензина (обозначения в тексте)

ной клапан (на рис. 13.4 поз. ВКД) в цилиндр продолжает впрыскиваться бензин и впускаться чистый воздух. Рабочая смесь несколько обедняется и за счет движения поршня вверх в такте сжатия становится нормальной уже непосредственно в цилиндре. Так внутреннее смесеобразование довершает процесс приготовления рабочей ТВ-смеси.

Количество подаваемого во впускной коллектор воздуха регулируется водителем посредством дроссельной заслонки 8 (ДЗ) от педали акселератора и тут же измеряется расходомером воздуха 10 (РВ). Количество проходящего через дозатор-распределитель бензина регулируется поршне-щелевым вентилем (ПЩВ) золотникового дозатора 9 (V), который, в свою очередь, управляется расходомером 10 посредством системы механических рычагов 15 (Р, Z, ОТ).

При такой схеме управления процессом смесеобразования рабочая смесь может иметь оптимальное (стехиометрическое) соотношение бензин/воздух ($\alpha \cong 1$) почти на всех низкооборотных режимах работы ДВС.

При запуске холодного двигателя пусковая форсунка 12 открывается электроклапаном 11 (внутри самой форсунки) и бензин интенсивно впрыскивается в миксерный (смесительный) ресивер 13 впускного коллектора К. Таким образом, сильно обогащенная рабочая ТВ-смесь приготавливается в ресивере 13 сразу для всех цилиндров двигателя. Клапанные форсунки в это время закрыты, так как при открытии пусковой форсунки 12 давление в прямой бензомагистрали 1 (ПБМ) резко падает (до 2,8 бар), а золотниковый дозатор 9 (V) до пуска ДВС также закрыт.

Электрический сигнал 14 на электроклапан 11 (внутри пусковой форсунки) поступает от ключа зажигания через пусковое термореле времени (см. главу 22), что имеет место только при прокручивании стартером холодного двигателя. Если двигатель теплый, то пусковая форсунка 12 не включается, так как пусковое термореле разомкнуто и электроклапан 11 обесточен (см. далее рис. 13.15). Таким образом, при пуске прогретого двигателя сразу начинают функционировать клапанные форсунки.

13.5. Система "K-Jetronic"

На рис. 13.6 приведена функциональная схема механической системы "K-Jetronic". Эта система работает по принципу непрерывного впрыска бензина во все цилиндры двигателя одновременно.

Как видно из чертежа, система "K-Jetronic" включает в свой состав замкнутое топливное кольцо (поз. 1.4.7.8.21.17.30.ОБМ), воздушный (индукционный) канал (поз. 15.18.СО.22.24), подсистему регулирования управляющего давления (поз. 21.12.17.30), дозатор-распределитель (формирователь впрыска) с рабочими форсунками (поз. 21.26), подсистему запуска холодного ДВС и регулировки оборотов холостого хода (XX) на непрогретом двигателе (поз. 16.23.24.19), подсистему рециркуляции отработавших газов (ОГ) для понижения содержания в них оксидов азота NO_x (поз. 13.14.25), подсистему регулирования состава ОГ для понижения содержания угарного газа СО и несгоревших углеводородов СН (поз. 14.20.27.28.29), подсистему нейтрализации токсичных компонентов в ОГ (поз. 10.11.14).

Система "K-Jetronic" работает следующим образом. Из бензобака 1 электробензонасос 4 нагнетает в подпорный накопитель 7 топлива бензин, который далее через топливный фильтр 8 под постоянным давлением около 6 бар по прямой бензомагистрали подается в дозатор-распределитель 21. В данной системе дозатор-распределитель является гидравлическим формирователем впрыска топлива.

Бензобак 1, бензонасос 4, подпорный накопитель 7 топлива и топливный фильтр 8 совместно с клапаном 17 обратного давления и редукционным клапаном 30 образуют замкнутое кольцо для циркуляции бензина под рабочим давлением в 6 бар.

При работе ДВС всасываемый воздух приподнимает заслонку 18 расходомера 15 воздуха, при этом золотник 33 в дозаторе-распределителе 21 перемещается вверх ровно на столько, сколько требуется пропустить бензина при данном количестве проходящего через расходомер воздуха. Перечисленными элементами реализован воздушный канал системы.

Для автоматизации процесса регулирования качественного состава ТВ-смеси золотник 33 дозатора-распределителя может управляться не только заслонкой расходомера (ротаметром) 18 снизу, но и

изменением давления над золотником сверху. Это давление называется управляющим и формируется в специальном регуляторе 12 управляющего давления. Регулятор 12 работает по принципу сброса излишнего давления над золотником 33. Излишний бензин возвращается по обратной бензомагистрали (ОБМ) в бензобак 1.

Таким образом в клапанных форсунках 26 поддерживается давление бензина в пределах от 3,5 бар до 6,0 бар. Конкретное значение давления определяется положением поршневого золотника 33 относительно дозирующих щелей дифференциальных клапанов.

Под изменяющимся таким образом управляемым давлением бензин вытесняется в бензопроводы рабочих каналов и далее распыляется форсунками в предклапанные колбы впускного коллектора. Пусковая форсунка 23 и термореле времени 16 работают только при пуске холодного двигателя.

Электроуправляемый клапан 19 дополнительной подачи воздуха работает при прогреве холодного ДВС, как автоматический регулятор частоты вращения на холостом ходу. Через него подается воздух в тех случаях, когда дроссельная заслонка 22 акселератора полностью закрыта. Винтом СО над дроссельной заслонкой 22 регулируется число оборотов на холостом ходу. Ресивер 24 совместно с предклапанными колбами образует миксерную (смесительную) полость всасывающего коллектора для внешнего смесеобразования.

Работа подсистемы очистки выхлопных отработавших газов подробно рассмотрена в главе 20.

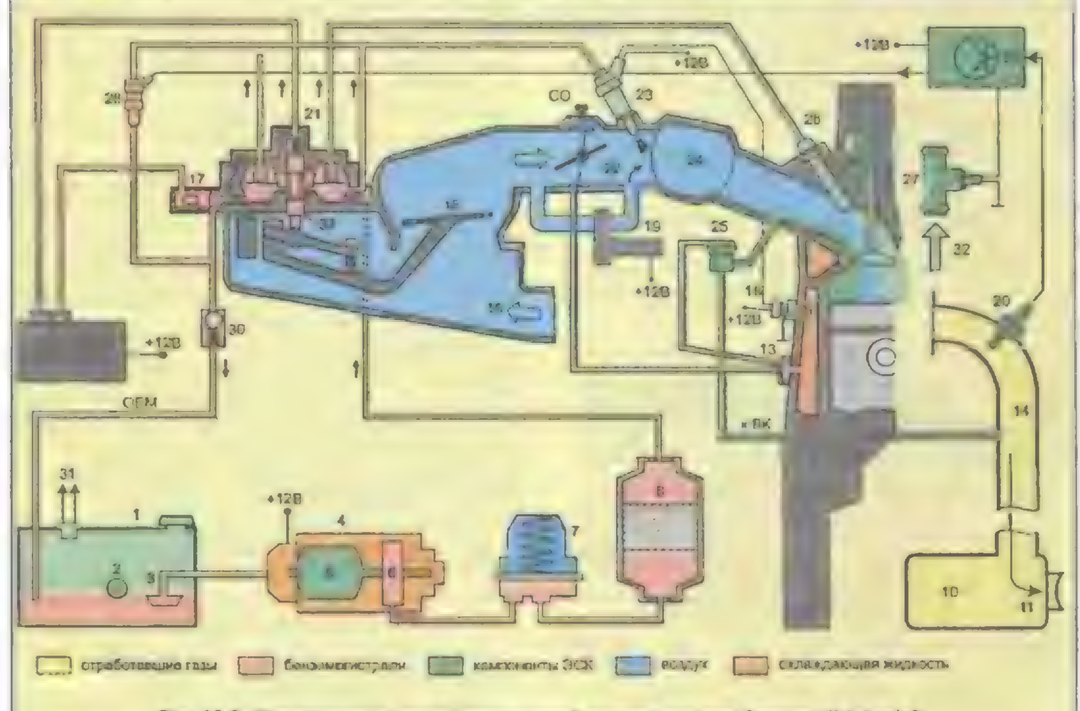


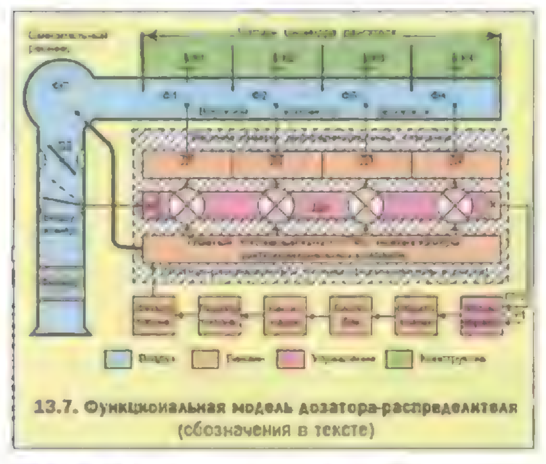
Рис. 13.6. Функциональная схема механической системы впрыска бензина "K-Jetronic":
1 — бензобак; 2 — поплавковый указатель уровня топлива; 3 — сетчатый фильтр; 4 — электробензонасос (ЭБН); 5 — электродвигатель ЭБН; 6 — шиберный нагнетатель ЭБН; 7 — подпорный накопитель топлива (гидроаккумулятор); 8 — фильтр тонкой очистки бензина; 9 — блок ДВС; 10 — каталитический газонейтрализатор; 11 — выход отработавших газов в глушительную подсистему; 12 — регулятор управляющего давления на непрогретом двигателе (регулятор прогрева); 13 — термопневмоклапан; 14 — выпускной коллектор; 15 — корпус расходомера воздуха; 16 — термореле времени; 17 — клапан обратного давления; 18 — воздушная заслонка расходомера (ротаметр); 19 — клапан дополнительной подачи воздуха через байпасный канал; 20 — датчик концентрации кислорода (ДКК); 21 — дозатор-распределитель топлива; 22 — дроссельная заслонка; 23 — пусковая форсунка; 24 — ресивер впускного коллектора; 25 — клапан подсистемы рециркуляции; 26 — рабочая клапанная форсунка; 27 — термоконтактор; 28 — тактовый гидроклапан (ТГК); 29 — электронный блок управления для ТГК; 30 — редукционный (стравливающий) клапан; 31 — контакты датчика уровня топлива; 32 — жидкость в системе охлаждения ДВС; 33 — золотниковый клапан (золотник) дозатора-распределителя.

13.6. Дозатор-распределитель

На рис. 13.7 схематически представлен основной составной компонент механической системы непрерывного впрыска бензина — дозатор-распределитель топлива (заштрихованная часть рисунка). Он состоит из дифференциальных клапанов Д1...Д4 (по числу цилиндров ДВС), из золотникового дозирующего вентиля ДВ, из распределителя топлива и из главного топливного канала ГТМ. Конструктивно дозатор-распределитель выполнен таким образом, что дифференциальные клапаны разделены на две камеры — верхнюю и нижнюю. Верхние камеры сообщены с рабочими форсунками Ф1...Ф4, а нижние — с прямой (подающей) бензомагистралью от топливного кольца (через фильтр). Золотниковый дозирующий вентиль ДВ с одной стороны управляется механическим усилием М от ротаметра расходомера воздуха, а с другой — управляющим давлением (гидравлическим усилием) в полости Х (сигналом СУ2). Давление в полости Х зависит от температуры Тд двигателя и управляется посредством регулятора прогрева РП (устройство управления).

Топливные каналы дозатора-распределителя закрытого типа, так как бензин проходит через них к клапанным форсункам Ф1...Ф4, не ответвляясь в обратную бензомагистраль.

Функционирование дозатора-распределителя станет понятным из рассмотрения работы составных его частей.



13.7. Функциональная модель дозатора-распределителя (обозначения в тексте)

13.7. Дифференциальный клапан

Модель дифференциального клапана ДК, который является главным функциональным устройством дозатора-распределителя, показана на рис. 13.8. Клапан ДК состоит из двух камер А и В, разделенных упругой металлической мембраной 1, которая подпружинена со стороны верхней камеры А стальной пружиной 2. Дифференциальный клапан имеет четыре топливных канала: входной канал 3, выходной канал 4 и два перепускных канала 5 и 6. Выходной канал 4 может перекрываться мембраной 1, когда она прогнута вверх. Так реализован выходной вентиль дифференциального клапана. Через перепускные каналы 5 и 6 верхняя камера А и нижняя камера В сообщаются между собой. В разрыв каналов 5 и 6 установлен золотниковый дозатор Д с поршне-щелевым вентилем 8, который управляется воздушной заслонкой (ротаметром) 10 расходомера воздуха 9 через систему механических рычагов 12.

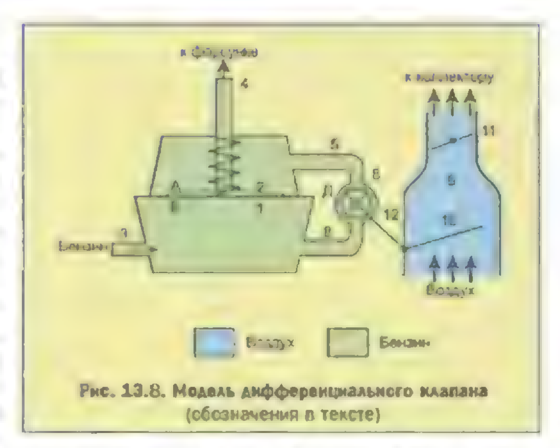


Рис. 13.8. Модель дифференциального клапана (обозначения в тексте)

Дифференциальный клапан работает следующим образом. В исходном состоянии, когда двигатель не работает, мембрана 1 отжата пружиной 2 вниз и выходной топливный канал 4 приоткрыт, что исключает образование воздушных и паровых пробок в форсунках и рабочих каналах. Поршне-щелевой вентиль 8 в золотниковом дозаторе Д полностью закрыт, т.к. полностью закрыта заслонка 10 расходомера воздуха 9.

При включении зажигания сразу начинает работать электрический бензонасос, и топливо под давлением в 6 бар подается в нижнюю камеру В через входной канал 3. При этом мембрана 1 под действием давления бензина поднимается вверх и закрывает выходной канал 4 в верхней камере А.

Далее, как только стартер начинает прокручивать коленвал двигателя, воздух под действием разрежения при всасывании начнет приподнимать заслонку 10 расходомера воздуха 9. Заслонка 10 через рычаг 12 открывает поршне-щелевой вентиль 8 золотникового дозатора Д, через который бензин из нижней камеры В начнет перетекать в верхнюю камеру А. Как только совместное усилие пружины 2 и давления бензина в верхней камере А превысит давление бензина в нижней камере В на величину не менее 0,1 бара, то мембрана 1 прогнется вниз, и бензин начнет поступать через выходной канал 4 к клапанной форсунке.

Следует заметить, что давление бензина в верхней камере А может изменяться в пределах от 3,2 бар до 6 бар путем изменения пропускной способности поршне-щелевого вентиля золотникового дозатора. При этом давление в нижней камере В всегда остается постоянным и равным 6 бар. Количество пропущенного к форсунке топлива зависит от степени прогиба мембраны 1, а сам прогиб мембраны может легко управляться давлением бензина в верхней камере посредством золотникового дозатора Д.

Таким образом, количество пропущенного к форсунке бензина в строго заданной пропорции соответствует количеству воздуха, пропущенного во впускной коллектор через расходомер воздуха.

В свою очередь, количество пропущенного воздуха, а следовательно и число оборотов двигателя определяются степенью открытия дроссельной заслонки 11, которая управляется водителем посредством педали акселератора.

13.8. Золотниковый дозатор

На рис. 13.9 показан золотниковый дозатор Д с поршне-щелевым вентилем.

Он состоит из цилиндрической прорезной втулки 1 с калиброванными дозирующими щелями 2, число которых равно числу цилиндров ДВС, а также из поршне-стержневого золотника 3.

Прорезная втулка 1, в которую с притиркой вставлен золотник 3, совместно с ним образует перепускной золотниковый дозатор 4 (на рис. 13.8 поз. Д). Дозатор 4 посредством полости 9 сообщается с нижними камерами В всех дифференциальных клапанов К через перепускные каналы 6. С верхними камерами А полость 9 дозатора 4 сообщается посредством каналов 5, в каждый из которых вмонтирована калиброванная дозирующая щель 2.

Золотниковый дозатор Д работает следующим образом.

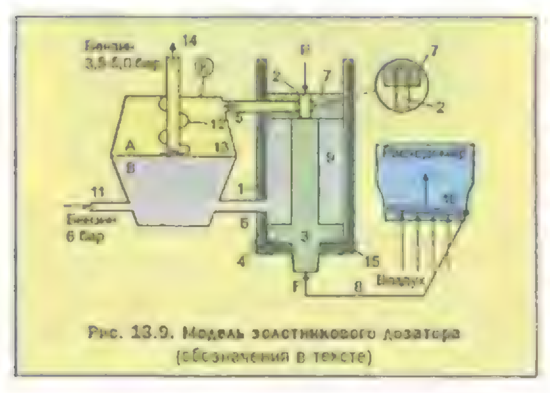


Рис. 13.9. Модель золотникового дозатора (обозначения в тексте)

В исходном состоянии нижняя камера В наполняется бензином под давлением 6 бар через входное отверстие 11. Через перепускной канал 6 бензин перетекает в полость 9 и далее во все нижние камеры дозатора-распределителя. При этом нижний край строго притертого поршня 7 находится на границе открытия калиброванной щели 2, но пока еще перекрывает эту щель. Как только двигатель начнет вращаться, усилие F от рычага 8 расходомера воздуха 10 начнет поднимать золотник 3 вверх, калиброванная щель 2 начнет открываться и бензин из полости 9 дозатора 4 начнет поступать в верхнюю камеру А через канал 5. При полном поднятии вверх золотника 3 поршень 7 полностью откроет калиброванную щель 2, и давление бензина в верхней камере А почти сравняется с давлением в нижней камере В и станет равным ~6 бар. При этом пружина 12 верхней камеры А дифференциального клапана К полностью, до упора прогнет мембрану 13 и тем самым полностью откроет выходной канал 14 дифференциального клапана.

В промежуточных положениях поршня 7 давление в верхней камере А будет изменяться по линейному закону в пределах от 3,2 бар до 5,8 бар.

Разным значениям давления в верхней камере А соответствует различная степень прогиба диафрагмы 13, а, следовательно, и различная степень открытия выходного канала 14, что обеспечивает управление количеством пропущенного к форсунке бензина. При этом строго линейная зависимость количества впрыснутого топлива от количества воздуха, пропущенного через расходомер воздуха, обеспечивает постоянство соотношения бензин/воздух в рабочей смеси, которое должно быть равно стехиометрическому соотношению 1/14,7. Нижний поршень 15 золотника 3 участия в управлении давлением не принимает и служит лишь направляющей опорой для нижнего конца золотника 3.

13.9. Распределитель топлива

На рис. 13.10 показан дозатор-распределитель топлива в сборе. Он состоит из верхней части R и нижней части S, между которыми стяжными болтами плотно зажата упругая мембрана М — общая для всех дифференциальных клапанов К, и их подпорные пружины П. Верхняя часть R является распределителем топлива по клапанным форсункам (через выходные каналы 4). Распределитель топлива выполнен в виде верхней крышки к камерам А и В дифференциальных клапанов. Камеры А и В образованы в верхней R и нижней S частях корпуса фрезерованными пустотами. Топливные каналы 3.4.5.6 камер А и В просверлены в теле литого корпуса дозатора-распределителя.

Прорезная цилиндрическая втулка 1 золотникового дозатора выполнена либо из металлокерамики, ли-

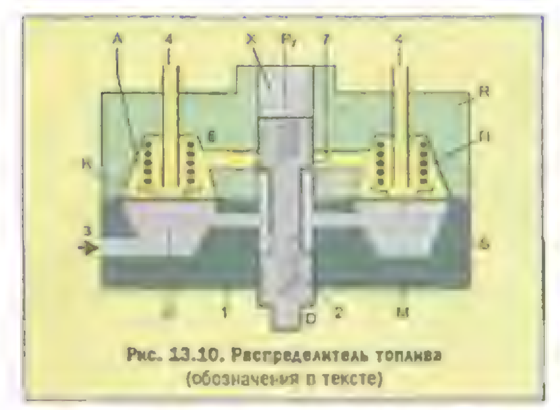


Рис. 13.10. Распределитель топлива (обозначения в тексте)

бо из твердой стали и запрессована в корпус распределителя таким образом, что калиброванные щели 7 строго совпадают с топливными каналами 6 верхних камер А. Поршень 2 золотникового дозатора Д свободно вдвигается в прорезную втулку 1 снизу. Сверху поршень 2 напряжен возвратным усилием P_y.

Все топливные каналы снаружи заканчиваются резьбой для ввертывания в них штуцеров рабочих каналов бензопроводов.

В верхней части R корпуса распределителя имеется полость X, в которую подается бензин из прямой бензомагистрали под давлением P_y по специальному калиброванному гидродросселем каналу. Давление P_y называется управляющим (на рис. 13.9. поз. Р) и в полости X регулируется путем стравливания бензина обратно в бензобак. Регулировку давления P_y осуществляет специальный регулятор управляющего давления. Это позволяет автоматически изменять количество подаваемого в форсунки бензине при прогреве холодного двигателя.

Следует отметить, что хотя дозатор-распределитель имеет разборную конструкцию, разбирать его фирма BOSCH не рекомендует, т.к. собрать его правильно без специальной оснастки невозможно.

13.10. Регулятор прогрева и регулятор управляющего давления

Механическая система непрерывного впрыска бензина "K-Jetronic" имеет много модификаций.

Это объясняется тем, что фирма BOSCH продавала систему "K-Jetronic" для установки на самых разнообразных автомобилях.

Например, система "K-Jetronic" для четырех- и пятицилиндровых ДВС автомобиля "Audi" отличается конструкцией регулятора давления.

На 4-х цилиндровых двигателях это устройство (см. рис. 13.11) работает только как регулятор прогрева холодного двигателя, компенсируя конденсацию бензина на холодных частях в предклапанных зонах впускного коллектора. Регулятор прогрева своим нижним теплоприемным торцом S устанавливается снаружи блока цилиндров на специальную полированную площадку Р, чем обеспечивается нужный теплообмен между блоком цилиндров и регулятором прогрева.

Внутри регулятора прогрева имеется биметаллическая плоская пластина (А), на которую намотана спираль электрического подогревателя (В) и которая имеет надежный тепловой контакт (Н) с корпусом регулятора.

Таким образом биметаллическая пластина А может прогибаться вниз или вверх на некоторый угол под воздействием нагрева либо от блока цилиндров ДВС, либо от электрического подогревателя В. Промежуточное положение биметаллической пластины А зависит от соотношения этих двух тепловых воздействий.

Регулятор прогрева работает следующим образом.

Когда запускается холодный ДВС, то биметаллическая пластина А прогнута вниз настолько, насколько этот прогиб соответствует температуре холодного блока цилиндров. Если двигатель долго не работал, а температура окружающей среды ниже +10°С, то пластина А прогнута полностью и диафрагма Д опущена вниз до упора, что приводит к полному открытию клапана К управляющего давления. Ясно, что при этом управляющее давление P_y в полости X (см. рис. 13.10) золотникового дозатора падает до минимального значения. При неизменной интенсивности всасывания воздуха золотник дозатора-распределителя и воздушная заслонка расходомера воздуха, испытывая меньшее обратное воздействие со стороны P_y в полости X, поднимаются несколько выше, что

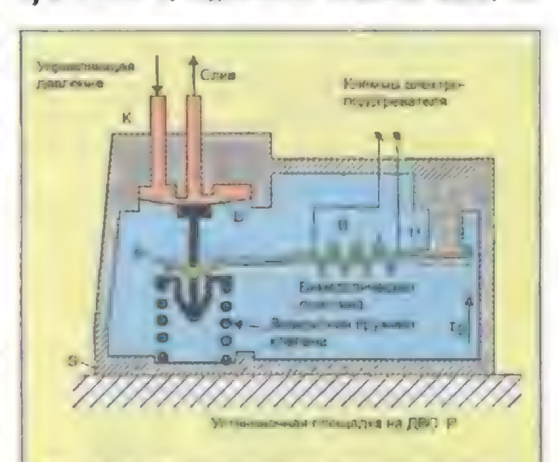


Рис. 13.11. Регулятор прогрева системы "K-Jetronic": А — биметаллическая пластина; В — электроподогреватель; К — мембранный клапан регулятора; D — мембрана клапана К; Н — теплопроводная опора пластины А; S — теплопроводный корпус регулятора; T_A — тепловой поток от блока цилиндров ДВС; Р — блок цилиндров ДВС.

приводит к желаемому обогащению топливовоздушной смеси.

По мере прогрева ДВС биметаллическая пластина А регулятора прогрева РП медленно прогибается обратно вверх и тем самым постепенно начинает перекрывать главный клапан К управляющего давления до тех пор, пока этот клапан полностью не закроется. Температура ДВС в месте установки регулятора прогрева РП при этом достигает 65-70°С.

Электрический подогреватель В биметаллической пластины А включается одновременно с бензонасосом специальным управляющим реле (см. далее рис. 13.15). Подогрев служит для ускоренного прекращения процедуры обогащения. Делается это для того, чтобы недостаточно прогретый, но устойчиво работающий двигатель не потреблял излишнего количества бензина на холостых оборотах.

После того, как прогрев ДВС будет завершен, биметаллическая пластина устанавливается в верхнем положении, клапан К закрывается и дополнительное обогащение топливовоздушной смеси прекращается.

При запуске горячего двигателя регулятор прогрева не оказывает влияния на процесс смесеобразования, так как его биметаллическая пластина находится в верхнем положении, а клапан К закрыт.

- Регулятор прогрева для 5-ти цилиндрового двигателя, помимо обогащения ТВ-смеси при прогреве, обедняет ее в режимах ХХ прогретого двигателя и частичных нагрузок. Он также обогащает ТВ-смесь при максимальной нагрузке двигателя. Для выполнения этих функций регулятор прогрева дополнен вакуумным экономайзером с гибкой пружинистой диафрагмой (рис. 13.12). Такой экономайзер работает от разрежения в задроссельной зоне впускного коллектора, и регулятор прогрева теперь выполняет функции регулятора управляющего давления (РУД).

Рис. 13.12. Регулятор управляющего давления системы "K-Jetronic":
1 — полость атмосферного давления, 2 — штуцер для соединения с задроссельной зоной впускного коллектора; 3 — возвратная пружина мембранного клапана; 4 — пружина вакуумного экономайзера, 5 — диафрагма вакуумного экономайзера; 6 — полость разрежения; $P_в$ — абсолютное давление (разрежение); остальные обозначения по рис. 13.11

Хорошо известно, что когда двигатель работает на холостом ходу и особенно на принудительном ХХ или на ранних частичных нагрузках, то разрежение в задроссельной зоне может быть достаточно большим, а при работе ДВС в режиме полной нагрузки указанное разрежение, падая, приближается к нормальному атмосферному давлению. Возникающий таким образом перепад давления в задроссельной зоне с помощью вакуумного шланга подводится к штуцеру вакуумной полости (1) диафрагменного экономайзера РУД, где усилием вакуумного разрежения $P_в$ ослабляется действие главной возвратной пружины 3 клапана К управляющего давления.

Таким образом, при работе прогретого ДВС в режиме холостого хода или частичных нагрузок, когда разрежение $P_в$ увеличено, диафрагма экономайзера приподнимается вверх (на ПХХ до упора) и через внутреннюю пружину (4) поднимает диафрагму главного клапана К, за счет чего увеличивается управляющее давление $P_у$ в полости Х над золотником дозатора-распределителя. Уже было сказано, что при этом топливовоздушная смесь объединяется, так как при неизменной массе прошедшего воздуха количество прошедшего к форсункам бензина будет уменьшено.

Если двигатель переводится в режим принудительного холостого хода (когда разрежение $P_в$ максимально), то главный клапан К регулятора управляющего давления РУД полностью закрывается, обеспечивая минимальную подачу топлива к форсункам.

При работе ДВС под полной нагрузкой, когда дроссельная заслонка полностью открыта, разрежение в задроссельной зоне, а значит, и в диафрагменном экономайзере отсутствует, и внутренняя пружина (4), опускаясь вниз, увеличивает проходное сечение главного диафрагменного клапана К. Давление в полости Х падает, и воздушная заслонка расходомера вместе с поршнем золотникового дозатора поднимается вверх. Ясно, что при неизменном количестве впускаемого воздуха количество пропущенного через форсунки бензина увеличивается. Полученное таким образом обогащение топливовоздушной смеси в режиме полной нагрузки двигателя обеспечивает увеличение его мощности.

13.11. Пусковая форсунка и ее управление

Пусковая форсунка, которая иногда также называется пусковым клапаном, является устройством с электромагнитным управлением (см. главу 22). Пусковая форсунка в обычной системе "K-Jetronic" сра-

батывает только при запуске холодного ДВС ($T_Д$ < 35°С), так как электрическая цепь ее включения при более высокой температуре размыкается термоэлектрическим реле времени.

Внутри форсунки имеется индуктивный соленоид, работающий на втягивание ферромагнитного керна. На керне закреплена запорная тарелочка выходного сопла форсунки, которая открывается при подаче на соленоид управляющего напряжения. Обычно пусковая форсунка рассчитана на рабочее напряжение 12 В, но срабатывает и при напряжении от 6 В и потребляет ток до одного ампера.

Скорость срабатывания пусковой форсунки принципиального значения не имеет, так как она работает на значительное обогащение топливовоздушной смеси при медленном вращении двигателя. Пропускная способность этой форсунки в 6-8 раз больше пропускной способности рабочей клапанной форсунки для одной и той же модели системы впрыска.

В некоторых моделях механических систем впрыска пусковая форсунка имеет многоцелевое назначение.

Так, для западногерманских автомобилей "AUDI", на которых установлены пятицилиндровые двигатели серии JS и HP, пусковая форсунка системы "K-Jetronic" дополнительно выполняет функцию обогащения топливовоздушной смеси при разгоне автомобиля с недостаточно прогретым двигателем. Эти автомобили поставляются в страны Северной Европы, где в зимнее время полного прогрева двигателя приходится ждать долго.

Ясно, что в таком режиме пусковая форсунка реализует импульсный впрыск бензина, который прекращается, когда двигатель прогревается до температуры выше 35°С (так как при этом срабатывает термореле времени и отключает от "массы" пусковую форсунку).

Выключение пусковой форсунки произойдет также и тогда, когда педаль акселератора будет отпущена, и сработает концевой микровыключатель дроссельной заслонки.

Другой импульсный режим работы пусковой форсунки реализован в системе впрыска "K-Jetronic" для бензиновых двигателей с турбонаддувом. Из опыта эксплуатации бензиновых систем впрыска известно, что пуск горячего ДВС крайне затруднен при появлении в топливной системе паровых пробок или пузырьков воздуха. Пары и воздух, сжимаясь под напором бензина, не дают ему возможности свободно перемещаться по топливным магистралям, так как высокое давление топлива демпфируется амортизационным сжатием газов. Чтобы этого избежать, весь топливный канал системы впрыска надежно герметизируется. Однако при некоторых условиях эксплуатации двигателей герметизация не спасет от пробок. Чаще всего это имеет место при сильном перегреве двигателя или в двигателях, постоянно работающих на форсированных режимах. К последним относятся все двигатели с турбонаддувом, так как их нормальная рабочая температура на 15-20°С выше обычных двигателей.

Если двигатель с турбонаддувом заглушить после длительной поездки, то в нем на достаточно длительное время возникают зоны местного перегрева, что, как правило, приводит к образованию внутренних бензиновых испарений, которые и создают паровые пробки в топливных магистралях. Наиболее вероятно образование паровых пробок в несколько подработанных клапанных форсунках. Избавиться от "засевших" в топливных магистралях паровых пробок можно только интенсивной прокачкой топливной подсистемы бензином. Это легко достигается путем пуска горячего двигателя не от "засоренных" газом клапанных форсунок, а от высокопроизводительной и поэтому "не засоряющейся" пусковой форсунки с принудительным электроуправлением. Для этой цели в систему "K-Jetronic", против обычной, добавлено электронное тактовое реле, которое своими "сухими" контактами включено параллельно с термореле времени.

Когда двигатель горячий, то контактная пара термореле времени разомкнута. При подаче напряжения на клемму 50 замка зажигания, что имеет место при включении стартера, электронное тактовое реле начинает работать в прерывистом режиме, т.е. замыкает и размыкает свои "сухие" контакты с частотой срабатывания 10-15 Гц. При этом с такой же частотой срабатывает и пусковая форсунка, что позволяет запустить горячий двигатель без срабатывания основных клапанных форсунок.

13.12. Термореле времени

Если пусковая форсунка, которая включается ключом зажигания одновременно со стартером, будет работать по времени столько же, сколько и стартер, то при затруднительном пуске (например, при пуске двигателя при низких температурах, зимой) свечи зажигания могут быстро забрызгаться бензином. Чтобы этого не происходило, в электрическую цепь включения пусковой форсунки последовательно с ней включено термореле, дающее задержку по времени. Это реле удерживает свои контакты в замкнутом состоянии в зависимости от температуры охлаждающей жидкости в ДВС и в зависимости от продолжительности включения пусковой цепи стартера.

Устройство термореле времени описано в главе 22. Это реле размыкает свои биметаллические контакты при температуре 35-40°С, что может иметь место как при прогреве двигателя, так и под действием нагрева до 40-45°С от электроподогревателя. Термореле времени подключено к напряжению 12 В бортовой сети.

Если запускается теплый двигатель ($T_д$ > 35°С), то контактная пара термореле времени (ТРВ) еще до пуска разомкнута, и пусковая форсунка при таком пуске не используется. Если пускается холодный двигатель ($T_д$ < 35°С), то время, через которое контактная пара термореле времени разомкнется, зависит от температуры $T_д$ двигателя.

Таким образом, пусковая форсунка на непрогретом двигателе при включении стартера будет открыта ровно столько, сколько потребуется времени для прогрева биметаллической пластины до температуры размыкания контактов (см. рис. 13.13).

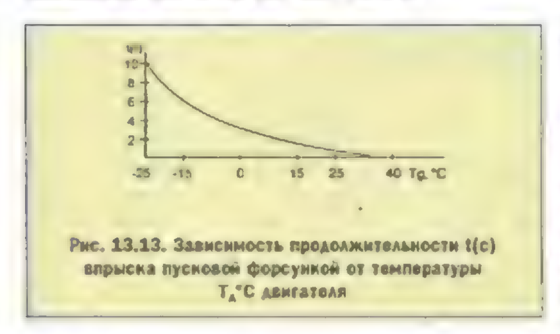


Рис. 13.13. Зависимость продолжительности t(c) впрыска пусковой форсункой от температуры $T_д$°С двигателя

13.13. Клапан дополнительной подачи воздуха

В воздушном канале некоторых систем "K-Jetronic" параллельно дроссельной заслонке установлен клапан дополнительной подачи воздуха (КДВ). Это так называемый "байпасный" воздушный клапан (рис. 13.14).

Его основное назначение — увеличивать обороты коленвала при запуске холодного двигателя. Принцип действия заключается в том, что при пуске холодного двигателя воздушная заслонка клапана КДВ открыта и добавочный воздух поступает в цилиндры не только через дроссельную заслонку, но и через байпасный канал. Ясно, что это приводит к дополнительному приподнятию пневмометрической заслонки (ротаметра) в расходомере воздуха, что равносильно дополнительному открытию дроссельной заслонки.



Рис. 13.14. Клапан дополнительной подачи воздуха: 1 — демпфирующая шторка (затвор); 2 — биметаллическая пластина; 3 — спираль электроподогревателя; 4 — контакт.

Обороты двигателя несколько увеличиваются и не дают ему заглохнуть от трения в холодных сочленениях. По мере прогрева ДВС механическое сопротивление трущихся частей ослабевает и надобность в байпасном канале отпадает. К этому времени спираль клапана КДВ успевает разогреваться от бортовой сети +12 В до такой степени, что биметаллическая пластина своим прогибом полностью закрывает воздушную заслонку клапана КДВ.

Резистивность спирали подогревателя биметаллической пластины в КДВ (как и в РУД) имеет положительный температурный коэффициент сопротивления, что при прогреве делает ток потребления от бортовой сети незначительным.

13.14. Бензонасос с электроприводом

Любая система впрыска топлива, которая устанавливается на современном автомобильном двигателе, снабжена бензонасосом с приводом от электродвигателя постоянного тока. Бензонасос может быть расположен либо вне бензобака под днищем кузова, либо непосредственно в бензобаке, где в таком случае он погружен в бензин.

Клеммы электродвигателя выведены за пределы корпуса бензобака, обозначены соответственно "+" и "–" и имеют герметичное уплотнение.

Электродвигатель рассчитан на рабочее напряжение 12 В и в нагрузочном режиме потребляет ток до 8 А. Мощность электродвигателя 100 Ватт. Принцип действия электробензонасоса подробно рассмотрен в главе 23.

Электрический бензонасос подключается к бортсети 12 В через реле управления бензонасосом или через специальную электронную схему. Это делается с целью недопущения работы бензонасоса в то время, когда ДВС не вращается, а зажигание включено.

13.15. Схема электрических соединений

На рис. 13.15 приведена принципиальная схема электрических соединений составных компонентов в системе "K-Jetronic". Эта схема работает от бортовой сети +12 В следующим образом.

Еще до запуска двигателя система впрыска бензина подготавливается к работе путем нагнетания рабочего давления в бензомагистралях. Это реализуется подключением электробензонасоса 11 (на 3...5 с до запуска двигателя) ключом зажигания 4 к напряжению 12 В аккумуляторной батареи 1 (генератор 2 пока не функционирует) посредством контактов 30-87 управляющего реле 5. Если двигатель холодный ($T_д$ < 35°С), то от этого же реле начинают отрабатывать свои функции ре-

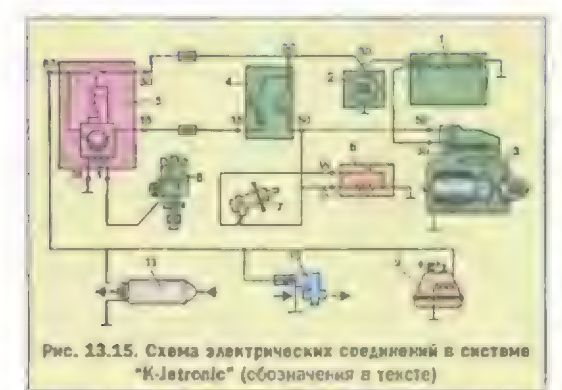
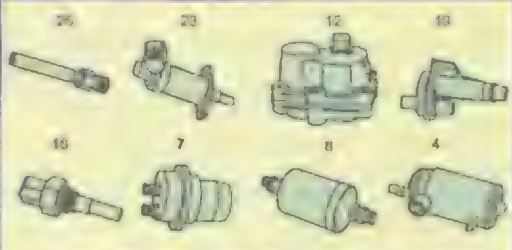


Рис. 13.15. Схема электрических соединений в системе "K-Jetronic" (обозначения в тексте)



13.16. Основные составные компоненты системы "K-Jetronic" (обозначения соответствуют рис. 13.6)



Рис. 13.17. Расположение компонентов системы "K-Jetronic" на двигателе WH-5:
1 — дозатор-распределитель; 2 — бензопроводные трубки; 3 — рабочие клапанные форсунки закрытого типа; 4 — воздуховод; 5 — прямая и обратная бензомагистрали; 6 — пусковая форсунка; 7 — регулятор прогрева (управляющего давления); 8 — клапан дополнительной подачи воздуха; 9 — впускной коллектор; 10 — термореле времени; 11 — воздушная заслонка (ротаметр) расходомера воздуха; 12 — корпус расходомера; 13 — узел дроссельной заслонки; 14 — миксерный (смесительный) ресивер впускного коллектора

гулятор прогрева 9 и клапан дополнительной подачи воздуха 10.

После включения стартера 3 ключом 4 одновременно со стартером к АКБ подключается термореле времени 6. Если контакты термореле замкнуты ($T_д < 35°C$), включается в работу пусковая форсунка 7, двигатель запускается и на контакт 1 управляющего реле 5 от прерывателя-распределителя 8 начинает поступать высоковольтный (350...400 В) импульс напряжения с частотой искрообразования в системе зажигания. Этот импульс обрабатывается в электронной схеме 12 и используется как удерживающий сигнал для реле управления 5, электробензонасос остается постоянно включенным. Если при включенном зажигании двигатель "заглохнет", то на контакт 1 реле 5 импульс от датчика-распределителя поступать не будет, сигнал удержания в схеме 12 исчезнет и электробензонасос 11 выключится. Если запускается теплый двигатель, то управляющее реле 5 включит электробензонасос 11, срабатывают рабочие форсунки впрыска, двигатель запускается без помощи пусковой форсунки. Работа остальных электрических устройств системы "K-Jetronic" очевидна из рассмотрения схемы, показанной на рис. 13.15.

Конструктивное исполнение (внешний вид) основных составных частей (компонентов) системы впрыска бензина "K-Jetronic" показано на рис. 13.16, а их примерное расположение на двигателе WH-5 автомобиля "Audu-100" — на рис. 13.17.

13.16. Система впрыска бензина "KE-Jetronic"

Впервые автоматическое электронное управление впрыском топлива на автомобильных двигателях было реализовано с помощью системы "KE-Jetronic". Хотя эта система (как и ее прототип "K-Jetronic") является механической системой непрерывного распределенного по цилиндрам впрыска бензина через гидромеханические форсунки закрытого типа, но управление качеством приготовляемой топливовоздушной смеси в системе "KE-Jetronic" чисто электронное.

Реализовать в механической системе впрыска смесеобразование близкое к оптимальному можно с использованием известной зависимости количества впрыскиваемого бензина от рабочего давления со стороны топливоподачи. Указанная зависимость частично используется в системе "K-Jetronic", где при запуске холодного двигателя срабатывает регулятор прогрева. Для расширения функций этого устройства в его конструкцию вмонтирована вакуумная камера, соединенная шлангом с задроссельной зоной впускного коллектора (см. рис. 13.12). Это позволяет реализовать управление процессом смесеобразования

при некотором изменении нагрузки двигателя. Но, как и в системах зажигания с вакуумным регулятором опережения, здесь имеет место низкая точность и ограничение диапазона регулирования.

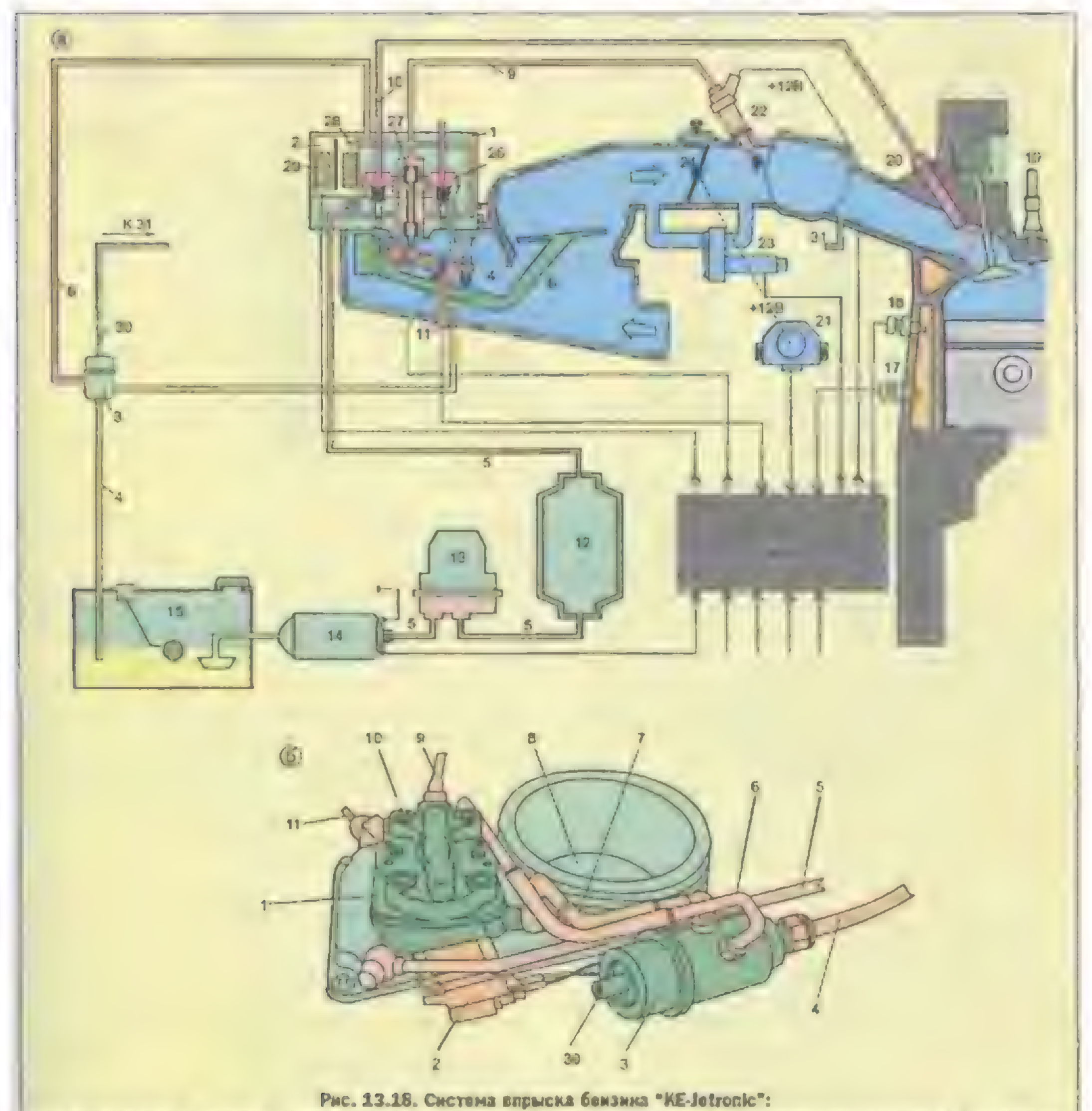


Рис. 13.18. Система впрыска бензина "KE-Jetronic":

а — функциональная схема; б — конструкция гидромеханического узла системы; 1 — дозатор-распределитель; 2 — электрогидравлический задатчик давления (ЭГЗД), 3 — мембранный регулятор давления (МРД); 4 — сливная бензомагистраль, 5 — прямая (подающая) бензомагистраль; 6 — соединительная бензомагистраль; 7 — возвратная бензомагистраль; 8 — ротаметр расходомера воздуха, 9 — бензопровод к пусковой форсунке, 10 — каналы к рабочим форсункам; 11 — электрический разъем потенциометра (датчика положения ротаметра); 12 — фильтр тонкой очистки бензина; 13 — подпорный накопитель топлива (гидроаккумулятор), 14 — электробензонасос; 15 — бензобак; 16 — ЭБУ впрыска; 17 — датчик температуры двигателя; 18 — термореле времени; 19 — свеча зажигания; 20 — рабочая форсунка; 21 — потенциометрический датчик положения дроссельной заслонки, 22 — пусковая форсунка; 23 — клапан дополнительной подачи воздуха; 24 — дроссельная заслонка; 25, 26 — нижняя и верхняя камеры дифференциальных клапанов; 27 — поршне-щелевой вентиль; 28 — топливный жиклер ЭГЗД, 29 — электромагнитная система ЭГЗД; 30 — штуцер вакуумной камеры МРД; 31 — штуцер в задроссельной зоне впускного коллектора.

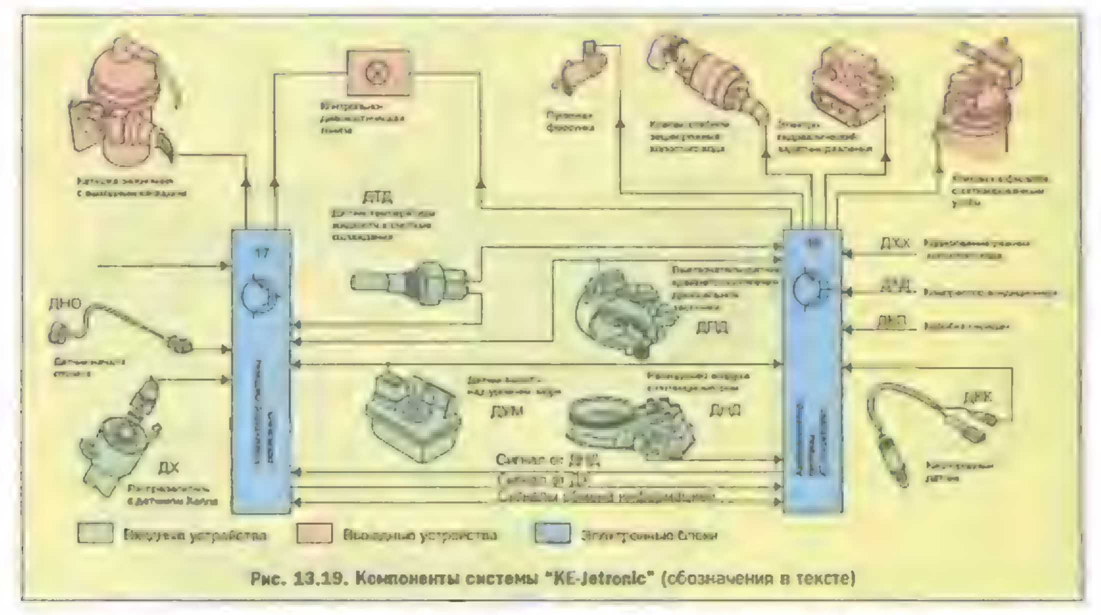


Рис. 13.19. Компоненты системы "KE-Jetronic" (обозначения в тексте)

Устранить эти недостатки механической системы можно внедрением в нее электронного управления качеством ТВ-смеси. Модернизированная таким способом механическая система впрыска бензина получила наименование "KE-Jetronic" (индекс E — от elektronic).

Система "KE-Jetronic" (как и ее прототип — система "K-Jetronic") относится к механическим системам непрерывного распределенного (многоточечного) впрыска бензина, но не с механическим, а с электронным управлением качественным составом ТВ-смеси, и не на прогреве, а во всех возможных режимах работы ДВС.

Для реализации такого электронного управления в состав системы "KE-Jetronic" дополнительно включены четыре новых устройства (рис. 13.18): электрогидравлический задатчик давления 2 (ЭГЗД), мембранный регулятор давления 3 (МРД), расходомер воздуха (РВП) с потенциометрическим датчиком 11 положения ротаметра 8 и электронный блок управления впрыском 16 (ЭБУ-В). Исключен из системы регулятор прогрева, а дозатор-распределитель 1 имеет несколько иную конструкцию. В зависимости от типа автомобильного двигателя входными датчиками для ЭБУ-В могут являться от 4-х до 11-ти различных преобразователей неэлектрических воздействий в электрические сигналы. Например, в системе "KE-III-Jetronic" для автомобилей "AUDI-80/90" (см. рис. 13.19) таких преобразователей десять: датчик температуры двигателя (ДТД); датчик краевого положения дроссельной заслонки (ДПД); датчик высоты над уровнем моря (ДУМ); датчик нагрузки двигателя (ДНД) по угловому положению ротаметра в расходомере воздуха; датчик частоты вращения и положения коленвала ДВС (ДХ-датчик Холла в системе зажигания); датчик начала отсчета (ДНО); датчик концентрации кислорода (ДКК); датчик включения автоматической коробки передач (ДКП); датчик режима холостого хода (ДХХ); датчик включения кондиционера (ДКД).

Основное назначение всех перечисленных устройств — обеспечить электронное автоматическое управление процессом смесеобразования в механической системе впрыска на всех режимах ее работы. Этим достигается повышение таких эксплуатационных показателей системы, как быстродействие и точность исполнения функций регулирования.

13.17. Электрогидравлический задатчик давления (ЭГЗД)

Изменение количества распыленного бензина с помощью форсунки закрытого типа (после того, как она откроется) всегда является следствием изменения давления внутри форсунки. Это давление называется давлением впрыска и в механических системах может управляться и с целью изменения количества впускаемой в цилиндры ТВ-смеси, и с целью изменения ее качественного состава. При работе двигателя количество подаваемой ТВ-смеси регулируется дроссельной заслонкой (от водительской педали акселератора), а качество — автоматической системой управления.

В системе "KE-Jetronic" приготовление ТВ-смеси и управление ее количеством реализуется так же, как и в системе "K-Jetronic", а автоматическое управление качеством — с помощью электрогидравлического задатчика давления (ЭГЗД).

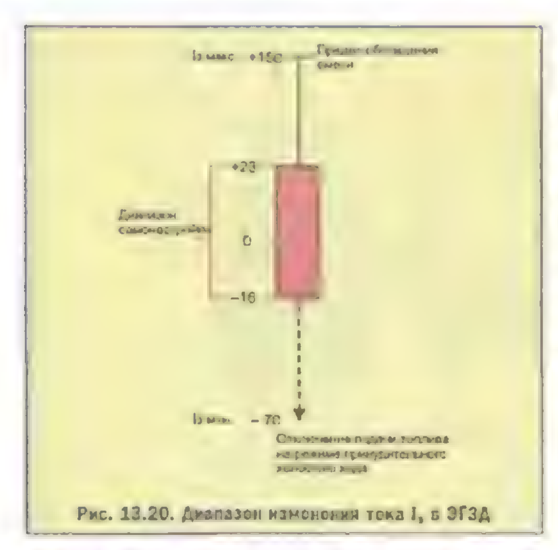


Рис. 13.20. Диапазон изменения тока $I_э$ в ЭГЗД

Этот задатчик (см. рис. 13.18) входит в состав дозатора-распределителя 1 и представляет собой бензиновый жиклерный клапан с электрически управляемой пропускной способностью жиклера 28. Электромагнитная система задатчика рассчитана и сконструирована так, чтобы количество бензина, проходящего через жиклер задатчика, было пропорционально величине электрического тока $I_э$, протекающего по катушке электромагнита 29. Это позволяет изменять подпорное давление бензина в нижних номерах 25 дозатора-распределителя так, чтобы разность давлений ΔP в полости поршне-щелевого вентиля (ПЩВ) 27 и в нижних камерах 25 всегда оставалась бы пропорциональной величине тока в задатчике 2. Для этой цели задатчик 2 давления своими гидравлическими каналами включен между прямой бензомагистралью 5 и нижними камерами 25. Управляя таким способом разностью между рабочим и подпорным давлением, можно достаточно точно и безынерционно управлять количеством топлива, подаваемого к форсункам, при неизменном количестве впускаемого в цилиндры воздуха. Форсунки сообщены с верхними камерами 26 бензотрубками 10.

В различных системах "КЕ" управляющий ток $I_э$ изменяется с помощью ЭБУ-В от $+I_{э\ max}$ до $-I_{э\ min}$ в различных пределах ($+I_{э\ max} \leq 150$ мА; $-I_{э\ min} \geq -70$ мА). Но всегда положительному значению тока ($+I_{э\ max}$) соответствует закрытое состояние жиклера 28 (предел обогащения ТВ-смеси), а отрицательному значению ($-I_{э\ min}$) — открытое (предел обеднения) до полного прекращения подачи бензина к форсункам). Значению тока $I_э$, близкому к нулю, соответствует штатная (установочная) пропускная способность жиклера 28, при которой система впрыска "КЕ" вырабатывает стехиометрическую ТВ-смесь и работает совместно с кислородным датчиком в режиме регулировки содержания угарного газа CO в выхлопных отработавших газах ($0{,}9 < \alpha < 1{,}1$). Диапазон изменения управляющего тока от 0,15 ($-I_{min}$) до 0,15 ($+I_{max}$) называется диапазоном самонастройки системы (рис. 13.20). В этом диапазоне имеет место компенсация ряда дестабилизирующих факторов, а именно: частичное нарушение герметичности воздушного канала, незначительная потеря компрессии в цилиндрах ДВС, увеличение выбросов CO. Благодаря компенсации двигатель продолжает устойчиво работать и не требует регулировок. Если электронная система управления током жиклера в задатчике давления выходит из строя и ток $I_э$ становится равным нулю, система "KE-Jetronic" продолжает выполнять свои функции, как обычная механическая система (без электронного управления).

13.18. Электронный блок управления впрыском (ЭБУ-В)

ЭБУ-В в системе "KE-Jetronic" аналогового принципа действия. Его главная задача — вырабатывать ток управления для электрогидравлического задатчика давления. Этот ток можно считать постоянным с плавным изменением величины текущего значения и с переключением полярности по заданному закону регулирования. Помимо этого ЭБУ-В вырабатывает сигналы управления для пусковой форсунки впрыска (в ранних выпусках систем "КЕ" форсунка впрыска управляется от термореле времени), для клапана стабилизации холостого хода, для клапана подсистемы нейтрализации паров бензина, для чек-лампы подсистемы бортовой самодиагностики, для авторегулятора системы зажигания (сигнал нагрузки ДВС).

На вход ЭБУ-В (см. рис. 13.19) поступают электрические сигналы от различных входных датчиков, а также от авторегулятора системы зажигания (АРЗ) — по каналу обмена данными.

ЭБУ и АРЗ в системе "KE-Jetronic" конструктивно выполнены в виде двух отдельных устройств. Однако следует заметить, что на ряде автомобилей, например на немецких "Volkswagen-Passat" (выпуск после 1988 года) устанавливается комбинированная система электронного управления двигателем "KE-Motronic". Она отличается от системы "KE-Jetronic" в основном только тем, что в ней функции управления впрыском бензина и электроискровым зажиганием выполняет один общий электронный блок.

В электронном блоке управления для системы впрыска "KE-Jetronic" впервые появился так называемый регистратор неисправностей, который работает совместно с электронной схемой самодиагностики. С помощью этой схемы контролируются сигналы входных датчиков и рабочие токи в исполнительных устройствах.

В случае возникновения нештатных ситуаций неисправности кодируются и фиксируются в регистра-

торе. На шоферском пульте управления загорается чек-лампа. Записанные коды неисправностей могут быть вызваны и расшифрованы с помощью миганий чек-лампы и таблицы кодов.

Электронные компоненты ЭБУ-В являются микроэлектронными устройствами и обладают достаточно высокой эксплуатационной и функциональной надежностью.

13.19. Мембранный регулятор давления (МРД)

Основное назначение МРД (см. рис. 13.18) — поддерживать подпорное давление в возвратной бензомагистрали 7 за нижними камерами 25 дозатора-распределителя 1.

Подпорное давление в системе "КЕ" выполняет роль управляющего. В системе "K-Jetronic" управляющее давление формируется с помощью регулятора прогрева, который изменяет величину гидравлического противодействия на золотник поршне-щелевого вентиля 27. В системе "KE-Jetronic" такого противодействия нет, а подпор создается в нижних камерах 25 и воздействует на мембраны дифференциальных клапанов в дозаторе-распределителе. Этот подпор создается задатчиком давления 2, а стабилизируется и поддерживается мембранным регулятором давления 3 (МРД). Кроме этого МРД закрывает сливную бензомагистраль 6 при остановке двигателя (ДВС). Когда ДВС работает в установившемся режиме подпорное давление на дифференциальные мембраны в нижних камерах 25 должно поддерживаться постоянным. Этим обеспечиваются условия оптимального смесеобразования, запрограммированные в ЭБУ-В для данного режима работы двигателя. При переходе двигателя на другой режим условия смесеобразования изменяются. Подпорное давление в нижних камерах 25 под воздействием электронного управления также изменяется, а его разность (ΔP) с рабочим давлением в полости ПЩВ 27 обеспечивает нужное увеличение или уменьшение количества подаваемого к форсункам бензина. Таким образом, подпорное давление на различных режимах работы ДВС различно, но для каждого конкретного режима — постоянно. Функцию поддержания требуемого значения подпорного давления выполняет мембранный регулятор давления МРД.

Устройство МРД показано на рис. 13.21. Как видно из чертежа, МРД состоит из трех камер: рабочей (красная), сливной (оранжевая) и вакуумной (синяя). Каждая камера имеет свои соединительные штуцера — 3, 5 и 9, 15 соответственно. Между рабочей и сливной камерами установлен полый толкатель 2 с перепускным каналом 10. Со стороны сливной камеры на торец толкателя 2 установлена запорная шайба 8, которая совместно с опорой 4 образует сливной клапан МРД. Этот клапан может открываться контрпру-

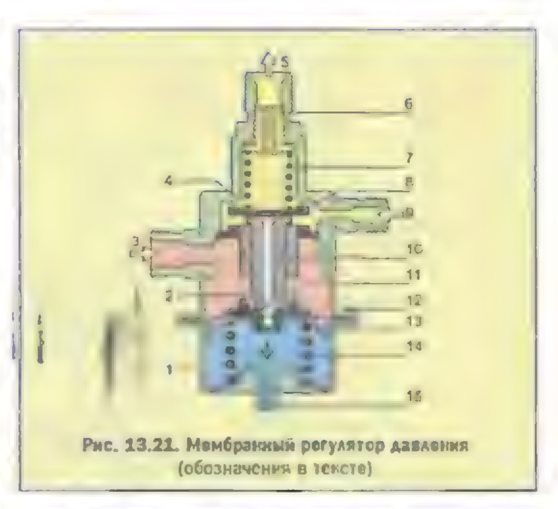


Рис. 13.21. Мембранный регулятор давления (обозначения в тексте)

жиной 7 при перемещении толкателя вниз. Усилие контрпружины регулируется винтом 6 через штуцер 5. Рабочая камера разобщена с вакуумной посредством упругой металлической мембраны 12, которая со стороны вакуумной камеры подперта оттарированной витой стальной пружиной 14. Перепускной канал 10 в подвижном толкателе 2 со стороны рабочей камеры перекрыт шариковым редукционным клапаном 11. Этот клапан установлен на мембране 12 таким образом, что при поднятии мембраны вверх (под напором давления в рабочей камере МРД) сначала поднимается запорная шайба 8 и открывает сливной клапан МРД, а затем после упора мембраны 12 в ограничитель 13 вверх приподнимается запорный шарик редукционного клапана 11. Степень открытия редукционного клапана определяется приростом давления бензина в рабочей камере МРД после того, как мембрана 12 упрется в ограничитель 13. Так как это давление совпадает по величине с рабочим давлением на входном жиклере 28 задатчика давления 2, то при изменении напора бензина в задатчике 2 и в нижних камерах 25 (управляемым током I_1 от ЭБУ-В), редукционный клапан 11 корректирует подпорное давление под заданную законом управления разность давлений ΔP.

Рабочая функция вакуумной камеры в мембранном регуляторе МРД заключается в коррекции подпорного давления при изменении нагрузки двигателя, для чего штуцер 15 соединяется шлангом с впускным коллектором.

13.20. Расходомер воздуха с потенциометрическим датчиком

Из опыта эксплуатации вакуумных регуляторов в системе зажигания известно, что диапазон их функционирования (по изменению нагрузки ДВС) крайне

ограничен. То же самое имеет место и при использовании вакуумных мембранных регуляторов давления в системах впрыска. Для устранения этого недостатка в поздних выпусках системы "KE-Jetronic" вакуумная камера, в МРД служащая для коррекции состава ТВ-смеси по нагрузке двигателя, не используется, а ее функции выполняет резистивный потенциометрический датчик степени открытия ротаметра (напорного диска) в пневмомеханическом расходомере воздуха.

В отличие от гибкой диафрагмы в вакуумной камере, ротаметр исключительно чувствителен к изменению количества всасываемого воздуха, а следовательно, и к изменению нагрузки двигателя.

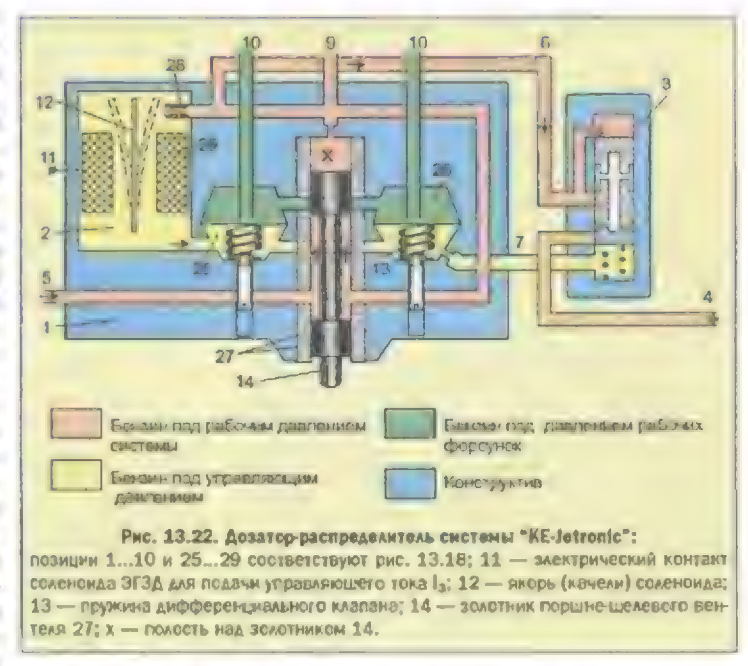


Рис. 13.22. Дозатор-распределитель системы "KE-Jetronic":
позиции 1...10 и 25...29 соответствуют рис. 13.18; 11 — электрический контакт соленоида ЭГЗД для подачи управляющего тока I_3; 12 — якорь (качели) соленоида; 13 — пружина дифференциального клапана; 14 — золотник поршне-щелевого вентеля 27; х — полость над золотником 14.

Конструкция расходомера воздуха с резистивным потенциометром на оси рычага ротаметра показана на рис. 13.18 позициями 8 и 11. При работе двигателя поток всасываемого воздуха приподнимает ротаметр на величину, соответствующую объему пропущенного воздуха, и ротаметр через систему рычагов (как и в системе "K-Jetronic") приподнимает золотник в поршне-щелевом вентиле 27. Последний управляет количеством пропущенного бензина к рабочим форсункам впрыска. Так реализуется механическое управление процессом приготовления ТВ-смеси, количество которой при подаче в цилиндры устанавливается дроссельной заслонкой (качество ТВ-смеси остается неизменным). Одновременно с этим рычаг ротаметра перемещает ползунок (центральный вывод) потенциометра на соответствующий угол по резистивной дорожке, на которую подается постоянное стабильное напряжение от ЭБУ-В. Таким образом на центральном выводе формируется электрический потенциал, несущий информацию об угловом положении рычага ротаметра, а значит, и о нагрузке двигателя. Этот потенциал возвращается в ЭБУ-В в виде электрического сигнала, который достаточно точно характеризует нагрузку ДВС.

13.21. Дозатор-распределитель (ДР)

Это устройство (рис. 13.22) в системе "KE-Jetronic" во многом подобно своему прототипу, но имеются и принципиальные отличия, основные из которых следующие (см. рис. 13.18 и 13.22). Дифференциальные диафрагмы между верхними 26 и нижними 25 камерами напряжены подпорными пружинами не со стороны верхних, а со стороны нижних камер. Бензин в нижние камеры подается не из прямой бензомагистрали 5, а из полости задатчика давления 2. Нижние камеры с полостью поршне-щелевого вентиля 27 не сообщаются, а сам вентиль 27 включен непосредственно в прямую бензомагистраль 5. Дозирующий жиклер перед верхней полостью X отсутствует, за счет чего давление в верхней и нижней полостях в вентиле 27 одинаковое. Как уже отмечалось, регулятор прогрева (управляющего давления) заменен электрогидравлическим задатчиком давления ЭГЗД 2, который установлен непосредственно на корпусе 1 дозатора-распределителя. Рабочие каналы 10, подающие бензин к форсункам впрыска 20 (как и в системе "K-Jetronic"), то приоткрываются, то прикрываются (управляется их пропускная способность) прогибом дифференциальных диафрагм. Степень прогиба управляется разностью давления ΔР бензина в верхних и нижних камерах. Пусковая форсунка 22, как и в системе "K-Jetronic", включена непосредственно в прямую бензомагистраль 5. Так как рабочее давление в системе "КЕ" повышено, то все соединительные бензомагистрали усилены — применены штуцеры с конической мелкой резьбой и металлические соединительные трубки. На рис. 13.22 позицией 3 показан не мембранный, а поршневой регулятор давления, который устанавливается в более поздних системах "K-Jetronic". Функции мембранного и поршневого регулятора одинаковые.

13.22. Работа системы "KE-Jetronic"

Пуск и прогрев холодного двигателя, оснащенного системой впрыска бензина "KE-Jetronic", происходит следующим образом (см. рис. 13.18).

При включении зажигания (еще до включения стартера) срабатывает электробензонасос 14 и начинается нагнетание бензина в нижние камеры дозатора распределителя 1, а также в рабочие полости задатчика 2 и мембранного регулятора 3. Сливные магистрали 6 и 7 в это время закрыты мембранным регулятором. Но как только давление в системе достигает рабочего значения для данной температуры двигателя (в ЭБУ-В учитывается сигнал датчика 17 ДТВ), сливные магистрали 6 и 7 открываются и бензин через возвратную магистраль 4 начнет поступать обратно в бензобак 15. Таким образом замкнутое топливное кольцо подготавливается к работе. Если двигатель заводится при пониженной температуре (T_o < 10°С), то срабатывает пусковая форсунка 22 и пуск происходит так же как и в системе "K-Jetronic". Если же температура двигателя выше 10°С, то пусковая форсунка не срабатывает (разомкнуты контакты термореле 18 или нет сигнала от ЭБУ-В 16) и запуск реализуется путем впрыска обогащенной ТВ-смеси через рабочие клапанные форсунки 20. При этом ЭБУ-В устанавливает в обмотке задатчика давления 2 такой ток, величина которого соответствует степени обогащения ТВ-смеси для нормальной (устойчивой) работы двигателя на холостом ходу при данной температуре. По мере прогрева работающего двигателя ток в обмотке задатчика плавно уменьшается, жиклер 28 задатчика все больше открывается и давление в нижних камерах 25 дозатора-распределителя 1 соответственно увеличивается. Это приводит к постепенному обеднению ТВ-смеси до тех пор, пока она не станет нормальной. Температура двигателя при этом достигнет значения 65°С. Дальнейшее повышение температуры двигателя не оказывает заметного влияния на работу системы впрыска.

Управление качеством ТВ-смеси на прогретом двигателе осуществляется по совокупности сигналов от всех датчиков на входе ЭБУ-В и по программе, заложенной в ЭБУ-В. Исполнительным устройством на всех возможных режимах работы прогретого двигателя остается задатчик давления ЭГЗД. С его помощью реализуются такие режимы работы системы впрыска, как: обогащение ТВ-смеси при разгоне автомобиля на прогретом или на непрогретом двигателе (участвуют датчики ДТД, ДПД и ДНД); обогащение ТВ-смеси на полной нагрузке ДВС (участвуют датчики ДПД и ДНД); прекращение подачи топлива к форсункам впрыска при торможении двигателем — принудительный холостой ход (участвуют датчики ДХ, ДПД и ДХХ), а также при превышении максимально допустимых оборотов коленвала двигателя (используется датчик ДХ); обеднение ТВ-смеси при движении автомобиля по горным дорогам (используется датчик ДУМ); корректировка состава ТВ-смеси при работе системы впрыска с датчиком ДКК концентрации кислорода. Схема электрических соединений в системе "KE-Jetronic" приведена на рис. 13.23.

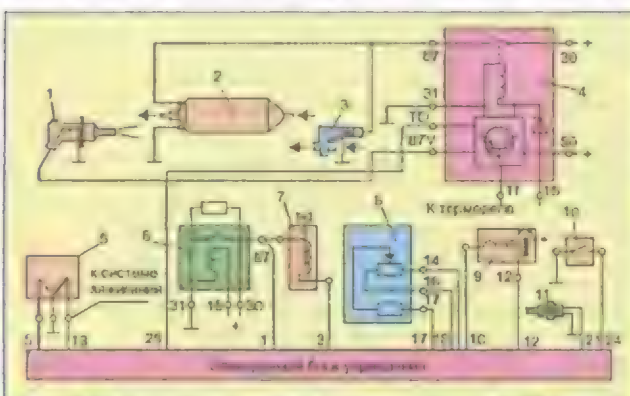


Рис. 13.23. Схема электрических соединений в системе "KE-Jetronic" (Фрагмент схемы электрооборудования):

1 — пусковая форсунка; 2 — электробензонасос; 3 — клапан дополнительной подачи воздуха; 4 — электронное реле управления электробензонасосом 2, пусковой форсункой 1 и клапаном подачи воздуха 3; 5 — датчик краевых положений дроссельной заслонки; 6 — реле защиты от перегрузки; 7 — клапан стабилизации режима холостого хода (в вариантах без клапана подачи воздуха 3); 8 — расходомер воздуха с потенциометрическим датчиком положения ротаметра; 9 — электрогидравлический задатчик давления; 10 — датчик принудительного ХХ (в вариантах без датчика 5); 11 — датчик температуры двигателя; 1, 3, 5, 10, 12, 13, 17, 21, 24, 25 — номера контактов в штекерном разъеме ЭБУ; TD — импульсный сигнал зажигания; 15, 30, 50 — номера контактов в замке зажигания (+12 В).

В заключение следует отметить, что дальнейшее усовершенствование систем впрыска бензина шло по пути внедрения порциальной (прерывистой) подачи топлива вместо непрерывной, что возможно реализовать заменой закрытых гидромеханических форсунок форсунками с электромагнитным управлением от ЭБУ-В дискретного принципа действия.

СИСТЕМЫ ОДНОТОЧЕЧНОГО ВПРЫСКА ТОПЛИВА ДЛЯ БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ (ГРУППА "MONO")

Главы четырнадцатая, пятнадцатая и шестнадцатая посвящены описанию современных систем центрального (одноточечного) впрыска топлива для бензиновых двигателей внутреннего сгорания легковых автомобилей. Такие системы впрыска бензина управляются с помощью электронной автоматики и относятся к группе "Mono".

14.1. Система впрыска бензина "Mono-Jetronic"

Впервые система центрального одноточечного импульсного впрыска топлива для бензиновых двигателей легковых автомобилей была разработана фирмой BOSCH в 1975 году. Эта система получила название "Mono-Jetronic" (Monojet — одиночная струя) и была установлена на автомобиле "Volkswagen".

• На рис. 14.1 показан центральный впрыскивающий узел системы "Mono-Jetronic". Из рисунка видно, что центральная форсунка впрыска (ЦФВ) устанавливается на стандартном впускном коллекторе вместо обычного карбюратора.

Но в отличие от карбюратора, в котором автоматика смесеобразования реализуется механическим управлением, в моносистеме впрыска применяется чисто электронное управление.

На рис. 14.2 показана упрощенная функциональная схема системы "Mono-Jetronic".

Электронный блок управления (ЭБУ) работает от входных датчиков 1-7, которые фиксируют текущее состояние и режим работы двигателя. По совокупно-

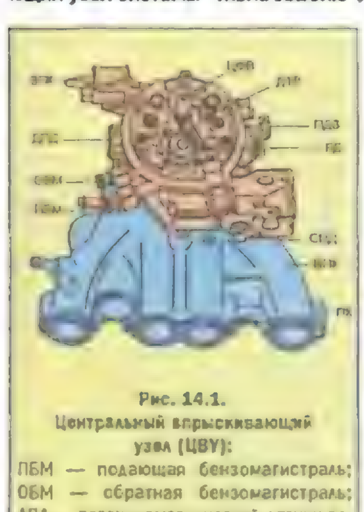


Рис. 14.1.
Центральный впрыскивающий узел (ЦВУ):
ПБМ — подающая бензомагистраль; ОБМ — обратная бензомагистраль; ДПД — потенциометрический датчик положения дроссельной заслонки; ЗПК — запорный пневмоклапан; ЦФВ — центральная форсунка впрыска; ДТВ — датчик температуры всасываемого воздуха; ПДЗ — привод дроссельной заслонки; РД — регулятор давления; СПД — электросервопривод дроссельной заслонки; ВПК — впускной коллектор; ПК — теплоизоляционная прокладка коллектора; КР — контактный разъем.

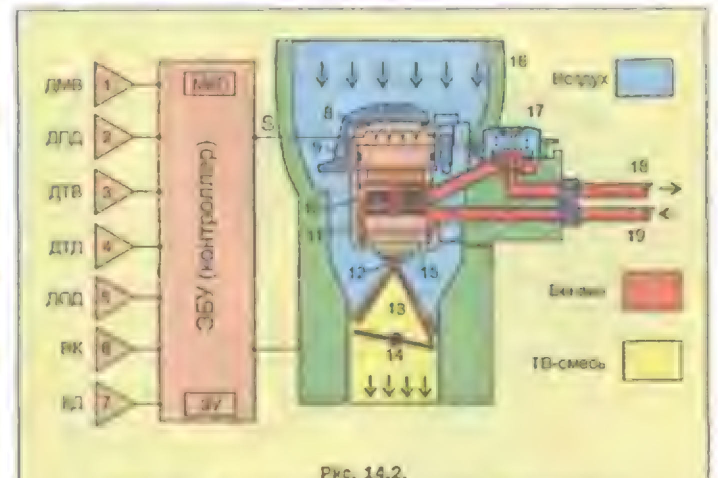


Рис. 14.2.
Упрощенная функциональная схема системы "Mono-Jetronic":
1—7 — входные датчики (ДМВ — момента впрыска, ДПД — положения дросселя, ДТВ — температуры воздуха, ДТД — температуры двигателя, ДОД — оборотов двигателя, ВК — концевой выключатель сервопривода, КД — концентрации кислорода); 8 — электромагнитный соленоид ЦФВ; 9 — установочное место для ДТВ; 10 — сетчатый бензофильтр; 11 — запорный клапан ЦФВ; 12— распылительное сопло; 13 — миксерная (смесительная) преддроссельная зона; 14 — дроссельная заслонка; 15 — центральная форсунка впрыска ЦФВ; 16 — корпус ЦВУ; 17 — регулятор давления РД; 18 — обратный бензопровод ОБП; 19 — подающая бензомагистраль ПБМ; ЭБУ — электронный блок управления; S — электроимпульс управления ЦФВ; ЗУ — блок памяти; МКП —микропроцессор.

сти сигналов от этих датчиков и с использованием информации из трехмерной характеристики впрыска в ЭБУ вычисляются начало и продолжительность открытого состояния центральной форсунки 15.

На основании расчетных данных в ЭБУ формируется электроимпульсный сигнал S управления для ЦФВ. Этот сигнал воздействует на обмотку 8 магнитного соленоида форсунки, запорный клапан 11 которой открывается, и через распылительное сопло 12 бензин принудительно под давлением 1,1 бар в топливоподающей магистрали 19 распыляется во впускной коллектор через открытую дроссельную заслонку 14.

При заданных размерах диафрагмы дроссельной заслонки и калиброванного сечения распылительного сопла массовое количество пропущенного в цилиндры воздуха определяется степенью открытия дроссельной заслонки, а массовое количество впрыснутого в воздушный поток бензина — продолжительностью открытого состояния форсунки и подпорным (рабочим) давлением в топливоподающей магистрали 19.

- Для того чтобы бензин сгорал полностью и наиболее эффективно, массы бензина и воздуха в ТВ-смеси должны находиться в строго определенном соотношении, равном 1/14,7 (для высокооктановых сортов бензина). Такое соотношение называется стехиометрическим, и ему соответствует коэффициент α избытка воздуха, равный единице. Коэффициент $\alpha = M_A/M_0$, где M_0 — количество массы воздуха, теоретически необходимой для полного сгорания данной порции бензина, а M_A — масса фактически выгоревшего воздуха.

Отсюда ясно, что в любой системе впрыска топлива обязательно должен иметься измеритель массы воздуха, впущенного в цилиндры двигателя при всасывании.

Рис. 14.3.
Центральная форсунка впрыска (ЦФВ):
1 — прямая бензомагистраль ПБМ; 2 — обратная бензомагистраль ОБМ; 3 — корпус ЦФВ; 4 — крышка; 5 — соединительные электропровода; 6 — датчик температуры всасываемого воздуха ДТВ; 7 — сетчатый бензофильтр; 8 — обмотка электромагнитного соленоида; 9 — запорный клапан ЦФВ; 10 — микроканалы распылительного сопла; 11 — раструб сопла; 12 — миксерная зона; 13 — возвратная пружина; 14 — магнитный керн; а — распылительное сопло; б — датчик температуры всасываемого воздуха ДТВ.

- В системе "Mono-Jetronic" масса воздуха рассчитывается в ЭБУ по показаниям двух датчиков (см. рис. 14.1): температуры всасываемого воздуха (ДТВ) и положения дроссельной заслонки (ДПД). Первый расположен непосредственно на пути воздушного потока в верхней части центральной форсунки впрыска и представляет собой миниатюрный полупроводниковый термистор, а второй является резистивным потенциометром, движок которого насажен на поворотную ось (ПДЗ) дроссельной заслонки.

Так как конкретному угловому положению дроссельной заслонки соответствует строго определенное объемное количество пропущенного воздуха, то дроссельный потенциометр выполняет функцию расходомера воздуха. В системе "Mono-Jetronic" он является также датчиком нагрузки двигателя.

Но масса всасываемого воздуха в значительной степени зависит от температуры. Холодный воздух более плотный, а значит, более тяжелый. По мере повышения температуры плотность воздуха и его масса уменьшаются. Влияние температуры учитывается датчиком ДТВ (см. рис. 14.3, б).

- Датчик ДТВ температуры всасываемого воздуха, как полупроводниковый термистор с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления, изменяет величину резистивности от 10 до 2,5 кОм при изменении температуры от –30 до +20°C. Сигнал датчика ДТВ используется только в таком температурном диапазоне. При этом базовая продолжительность впрыска бензина корректируется с помощью ЭБУ в интервале 20...0%. Если температура всасываемого воздуха выше +20°C, то сигнал датчика ДТВ блокируется в ЭБУ и датчик не используется.

Сигналы от датчиков положения дроссельной заслонки (ДПД) и температуры всасываемого воздуха (ДТВ) в случаях их отказов дублируются в ЭБУ сигналами датчиков частоты вращения (ДОД) и температуры охлаждающей жидкости (ДТД) двигателя.

- По рассчитанному в ЭБУ объему воздуха, а также по сигналу о частоте вращения двигателя, который поступает от датчика числа оборотов системы зажигания, определяется требуемая (базовая) продолжительность открытого состояния центральной форсунки впрыска.

Так как подпорное давление $P_т$ в топливоподающей магистрали (ПБМ) постоянно (для "Mono-Jetronic" $P_т = 1...1,1$ бар), а пропускная способность форсунки

задана суммарным сечением отверстий распылительного сопла, то время открытого состояния форсунки однозначно определяет количество впрыснутого бензина. Момент впрыска (на рис. 14.2 сигнал от датчика ДМВ) обычно задается одновременно с сигналом на воспламенение ТВ-смеси от системы зажигания (через 180° поворота коленвала для четырехцилиндрового ДВС).

Таким образом, при электронном управлении процессом смесеобразования обеспечение высокой точности дозировки впрыскиваемого бензина в измеренное количество массы воздуха является легко решаемой задачей, но, в конечном счете, точность дозирования определяется не электронной автоматикой, а точностью изготовления и функциональной надежностью входных датчиков и форсунки впрыска.

- На рис. 14.3 показана главная деталь системы "Mono-Jetronic" — центральная форсунка впрыска (ЦФВ).

Центральная форсунка впрыска представляет собой бензоклапан, который открывается электрическим импульсом, поступающим от электронного блока управления. Для этого в форсунке имеется электромагнитный соленоид 8 с подвижным магнитным керном 14. Основной проблемой при создании клапанов для импульсного впрыска является необходимость обеспечения высокой скорости срабатывания запорного устройства 9 клапана как на открывание, так и на закрытие. Решение проблемы достигается облегчением магнитного керна соленоида, увеличением тока в импульсном сигнале управления, подбором упругости возвратной пружины 13, а также формой притертых поверхностей для распылительного сопла 10.

Сопло форсунки (рис. 14.3, а) выполнено в виде раструба капиллярных канальцев, число которых обычно не менее шести. Углом при вершине раструба задается раскрыв струи впрыска, которая имеет форму воронки. При такой форме струя бензина не попадает на дроссельную заслонку даже при малом ее открытии, а пролетает в два тонких полумесяца открывшейся щели.

Центральная форсунка системы "Mono-Jetronic" надежно обеспечивает минимальную продолжительность открытого состояния распылительного сопла 11 в течение 1±0,1 мс. За такое время и при рабочем давлении в 1 бар через распылительное сопло площадью в 0,08 мм^2 впрыскивается около одного миллиграмма бензина. Этому соответствует расход топлива 4 л/ч на минимальных холостых оборотах (600 об/мин) прогретого двигателя. При пуске и прогреве холодного двигателя форсунка открывается на более продолжительное время (до 5...7 мс). Но, с другой стороны, максимальная продолжительность впрыска на прогретом двигателе (время открытого состояния форсунки) ограничивается предельной частотой вращения коленвала ДВС

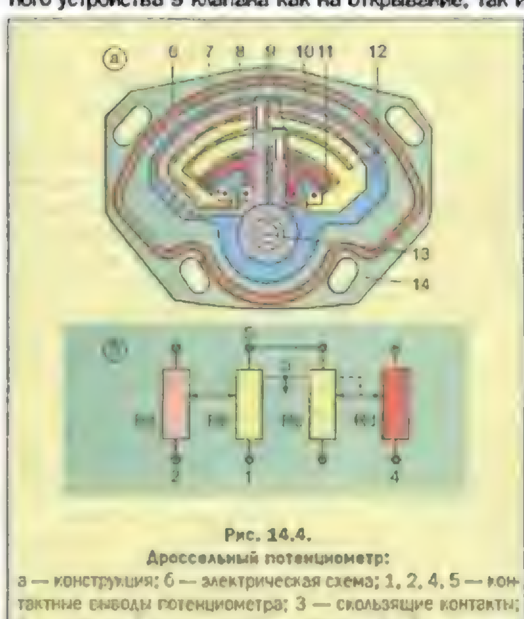


Рис. 14.4.
Дроссельный потенциометр:
а — конструкция; б — электрическая схема; 1, 2, 4, 5 — контактные выводы потенциометра; 3 — скользящие контакты; 6 — резиновый уплотнитель; 7 — резистор Ra; 8 — резистор Rб; 9 — пружины скользящих контактов на движке потенциометра; 10 — резистор Rc; 11 — резистор Rd; 12 — керамическая изоляционная подложка; 13 — ось движка потенциометра; 14 — пластмассовый корпус потенциометра; Ra, Rb, Rc, Rd — резистивные дорожки потенциометра.

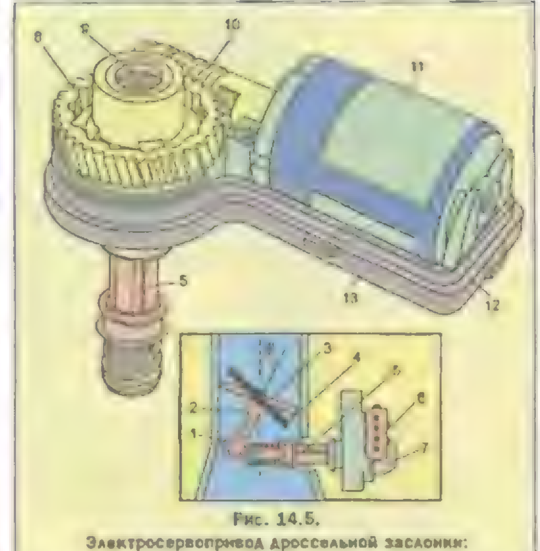


Рис. 14.5.
Электросервопривод дроссельной заслонки:
1 — опорный шток; 2 — поворотный рычаг дросселя; 3 — дроссель в закрытом состоянии; 4 — дроссель в открытом состоянии; 5 — толкатель выдвижной; 6 — контактный разъем; 7 — корпус сервопривода; 8 — шестерня; 9 — внутренняя винтовая резьба; 10 — червячный вал; 11 — реверсный электродвигатель; 12 — уплотнитель; 13 — пластмассовый корпус сервопривода без крышки; b — угол поворота дросселя под действием электросервопривода (17°).

(6500...7000 мин$^{-1}$) в режиме полного дросселя и не может быть более 4 мс. При этом тактовая частота срабатывания запорного устройства форсунки на холостом ходу не менее 20 Гц, а при полной нагрузке — не более 200...230 Гц.

- С особой тщательностью изготавливается датчик ДПД положения дроссельной заслонки (дроссельный потенциометр), показанный на рис. 14.4. Его чувствительность к повороту движка должна отвечать требованию ±0,5 угловых градусов поворота оси 13 дросселя. По строгому угловому положению оси дросселя определяются начала двух режимов работы двигателя: режима холостого хода (3±0,5°) и режима полной нагрузки (72,5±0,5°).

Для обеспечения высокой точности и надежности резистивные дорожки потенциометра, которых четыре, включены по схеме, показанной на рис. 14.4, б, а ось движка потенциометра (движок двухконтактный) посажена в безлюфтовый тефлоновый подшипник скольжения.

Потенциометр и ЭБУ соединены между собой четырехпроводным кабелем через контактный разъем. Для повышения надежности соединений контакты в разъеме и в фишке потенциометра позолочены. Контакты 1 и 5 предназначены для подачи опорного напряжения 5±0,01 В. Контакты 1 и 2 — для снятия сигнального напряжения при повороте дроссельной заслонки на угол от 0 до 24° (0...3° — режим холостого хода; 3...24° — режим малых нагрузок двигателя). Контакты 1 и 4 — для снятия сигнального напряжения при повороте дроссельной заслонки на угол от 18 до 90° (18...72,5° — режим средних нагрузок, 72,5...90° — режим полной нагрузки двигателя).

Сигнальное напряжение с дроссельного потенциометра дополнительно используется:

— для обогащения ТВ-смеси при разгоне автомобиля (регистрируется быстрота изменения сигнала от потенциометра);

— для обогащения ТВ-смеси в режиме полной нагрузки (регистрируется значение сигнала с потенциометра после 72,5° поворота дроссельной заслонки в сторону увеличения);

— для прекращения впрыска топлива в режиме принудительного холостого хода (регистрируется сигнал потенциометра, если угол открытого состояния дроссельной заслонки менее 3°. Одновременно контролируется частота ω вращения двигателя: если $\omega \geq 2100$ мин$^{-1}$, то подача топлива прекращается и восстанавливается вновь при $\omega \leq 1500$ мин$^{-1}$).

- Интересной особенностью системы впрыска "Mono-Jetronic" является наличие в ее составе подсистемы стабилизации оборотов холостого хода с помощью электросервопривода, который воздействует на ось дроссельной заслонки (рис. 14.5). Электросервопривод снабжен реверсным электродвигателем 11 постоянного тока.

Сервопривод включается в работу в режиме холостого хода и совместно со схемой отключения вакуумного регулятора угла опережения зажигания (схема стабилизации холостого хода — рис. 14.6) обеспечивает стабилизацию частоты вращения двигателя в этом режиме.

Такая подсистема стабилизации холостого хода работает следующим образом.

Когда угол открытого состояния дроссельной заслонки менее 3°, сигнал К (см. рис. 14.6) является для ЭБУ сигналом режима холостого хода (замыкается концевой выключатель ВК штоком сервопривода). По этому сигналу запорный пневмоклапан ЗПК срабатывает и канал разрежения от задроссельной зоны впускного коллектора к вакуумному регулятору ВР перекрывается. Вакуумный регулятор с этого момента не работает и угол

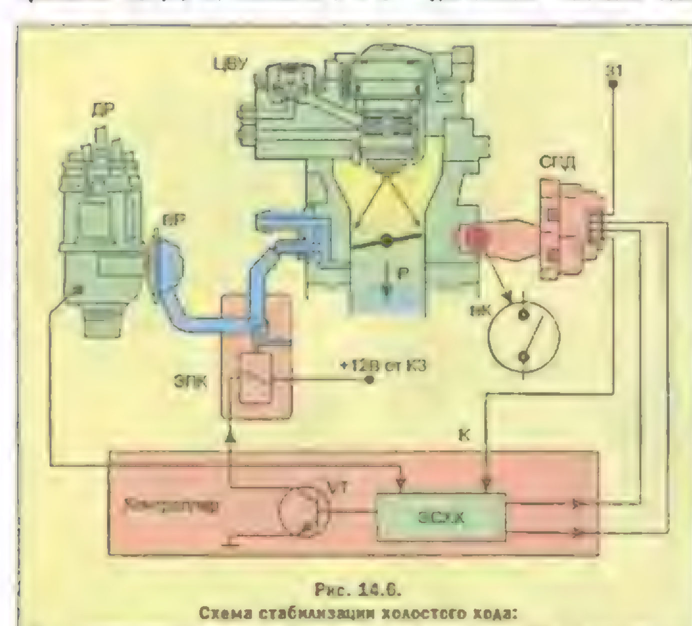


Рис. 14.6.
Схема стабилизации холостого хода:
ДР — датчик-распределитель; ВР — вакуумный регулятор; ЦВУ — центральный впрыскивающий узел; ЗПК — запорный пневмоклапан; Р — разрежение в задроссельной зоне; КЗ — ключ зажигания; ВК — концевой выключатель в электросервоприводе; К — сигнал холостого хода (ХХ) от концевого выключателя ВК; СПД — электросервопривод дроссельной заслонки; ЭСХХ — электронная схема управления режимом ХХ в контроллере; 31 — потенциальный провод (+12 В).

опережения зажигания становится равным значению установочного угла (6° до ВМТ). При этом двигатель на холостых оборотах работает устойчиво. Если в это время включается кондиционер или другой мощный потребитель энергии двигателя (например, фары дальнего света опосредствованно через генератор), то его обороты начинают падать. Двигатель может заглохнуть. Чтобы этого не происходило, по команде от электронной схемы управления холостым ходом (ЭСХХ) в контроллере включается электросервопривод, который несколько приоткрывает дроссельную заслонку. Обороты увеличиваются до номинального значения для данной температуры двигателя. Ясно, что при снятии нагрузки с двигателя его обороты уменьшаются до нормы тем же электросервоприводом.

- В ЭБУ системы "Mono-Jetronic" имеется микропроцессор МКП (см. рис. 14.2) с постоянной и оперативной памятью (блок ЗУ). В постоянную память "зашита" эталонная трехмерная характеристика впрыска (ТХВ). Эта характеристика в какой-то мере подобна трехмерной характеристике зажигания, но отличается тем, что ее выходным параметром является не угол опережения зажигания, а время (продолжительность) открытого состояния центральной форсунки впрыска. Входными координатами характеристики ТХВ являются частота вращения двигателя (сигнал поступает от контроллера системы зажигания) и объем всасываемого воздуха (рассчитывается микропроцессором в ЭБУ впрыска). Эталонная характеристика ТХВ несет в себе опорную (базовую) информацию о стехиометрическом соотношении бензина и воздуха в ТВ-смеси при всех возможных режимах и условиях работы двигателя. Эта информация выбирается из памяти ЗУ в микропроцессор ЭБУ по входным координатам характеристики ТХВ (по сигналам датчиков ДОД, ДПД, ДТВ) и корректируется по сигналам от датчика температуры охлаждающей жидкости (ДТД) и кислородного датчика (КД).

- О кислородном датчике надо сказать отдельно. Наличие его в системе впрыска позволяет удерживать состав ТВ-смеси постоянно в стехиометрическом соотношении (α=1). Это достигается тем, что датчик КД работает в цепи глубокой адаптивной обратной связи от системы выпуска отработавших газов к системе топливного питания (к системе впрыска).

Он реагирует на разность концентрации кислорода в атмосфере и в выхлопных газах. По сути дела, датчик КД является химическим источником тока первого рода (гальваническим элементом) с твердым электролитом (специальная сотовая металлокерамика) и с высокой (не ниже 300°С) рабочей температурой. ЭДС такого датчика почти по ступенчатому закону зависит от разности концентрации кислорода на его электродах (платино-радиевое пленочное покрытие с разных сторон пористой керамики). Наибольшая крутизна (перепад) ступеньки ЭДС приходится на значение α = 1.

Датчик КД вворачивается в трубу выпускного канала (например, в выхлопной коллектор) и его чувствительная поверхность (положительный электрод) оказывается в потоке выхлопных газов. Над крепежной резьбой датчика имеются щели, через которые наружный отрицательный электрод сообщается с ат-

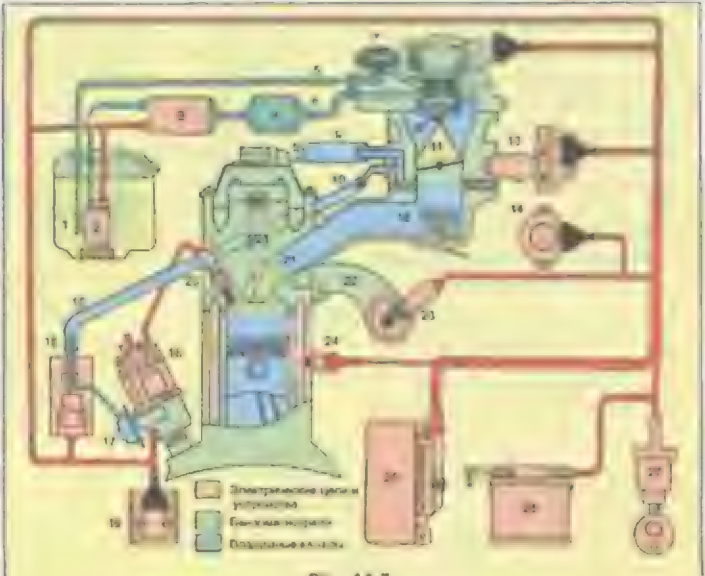


Рис. 14.7.
Функциональная схема системы "Mono-Jetronic":
1 — бензобак; 2 — подкачивающий бензонасос; 3 — основной бензонасос; 4 — бензофильтр; 5 — обратный бензопровод; 6 — прямая бензомагистраль; 7 — регулятор давления; 8 — центральная форсунка впрыска (ЦФВ); 9 — отвод картерных газов; 10 — штуцер вакуумного шланга для запорного клапана; 11 — дроссельная заслонка; 12 — подогреватель ТВ-смеси; 13 — электросервопривод дроссельной заслонки; 14 — дроссельный потенциометр (ДПА); 15 — вакуумный шланг; 16 — запорный пневмоклапан; 17 — вакуумный регулятор опережения зажигания; 18 — датчик-распределитель; 19 — электронный коммутатор зажигания; 20 — свеча зажигания; 21 — впускной клапан ДВС; 22 — выпускной коллектор; 23 — кислородный датчик; 24 — датчик температуры ДВС; 25 — электронный блок управления впрыском (ЭБУ-В); 26 — аккумуляторная батарея (АКБ); 27 — замок зажигания.

мосферным воздухом. На автомобилях с каталитическим газонейтрализатором кислородный датчик устанавливается перед нейтрализатором и имеет спираль электроподогрева, так как температура выпускных газов перед нейтрализатором может быть ниже 300°С. Кроме того, электроподогрев кислородного датчика ускоряет его подготовку к работе.

Сигнальными проводами датчик соединен с ЭБУ впрыска. Когда в цилиндры поступает бедная смесь ($\alpha > 1$), то концентрация кислорода в выхлопных газах чуть выше штатной (при $\alpha = 1$). Датчик КД выдает низкое напряжение (около 0,1 В), и ЭБУ по этому сигналу корректирует время продолжительности впрыска бензина в сторону его увеличения. Коэффициент α снова приближается к единице. При работе двигателя на богатой смеси кислородный датчик выдает напряжение около 0,9 В и работает в обратном порядке.

Интересно отметить, что кислородный датчик участвует в процессе смесеобразования только на режимах работы двигателя, при которых обогащение ТВ-смеси ограничено значением $\alpha \geq 0,9$. Это такие режимы, как нагрузка на низких и средних оборотах и холостой ход на прогретом двигателе. В противном случае датчик КД отключается (блокируется) в ЭБУ и коррекция состава ТВ-смеси по концентрации кислорода в отработавших газах не осуществляется. Это имеет место, например, в режимах пуска и прогрева холодного двигателя и на его форсированных режимах (разгона и полной нагрузки). В этих режимах требуется значительное обогащение ТВ-смеси и поэтому срабатывание кислородного датчика ("прижимающего" коэффициент α к единице) здесь недопустимо.

На рис. 14.7 приведена функциональная схема системы впрыска "Mono-Jetronic" со всеми составными ее компонентами.

Любая система впрыска в своей топливоподающей подсистеме обязательно содержит замкнутое топливное кольцо, которое начинается от бензобака и заканчивается там же. Сюда входят: бензобак ББ, электробензонасос ЭБН, фильтр тонкой очистки топлива ФТОТ, распределитель топлива РТ (в системе "Mono-Jetronic" — это центральная форсунка впрыска) и регулятор давления РД, работающий по принципу стравливающего клапана при превышении заданного рабочего давления в замкнутом кольце (для системы "Mono-Jetronic" 1...1,1 бар).

Замкнутое топливное кольцо выполняет три функции:

— с помощью регулятора давления поддерживает требуемое постоянное рабочее давление для распределителя топлива;

— с помощью подпружиненной диафрагмы в регуляторе давления сохраняет некоторое остаточное давление (0,5 бар) после выключения двигателя, благодаря чему не допускается образование паровых и воздушных пробок в топливных магистралях при остывании двигателя;

— обеспечивает охлаждение системы впрыска за счет постоянной циркуляции бензина по замкнутому контуру.

В заключение следует отметить, что система "Mono-Jetronic" использовалась только на легковых автомобилях среднего потребительского класса, например таких, как западно-германские автомобили: "Volkswagen-Passat", "Volkswagen-Polo", "Audi-80".

Глава пятнадцатая

СИСТЕМА ВПРЫСКА ТОПЛИВА "Mono-Motronic"

Система "Mono-Motronic" представляет собой комплексную систему управления бензиновым двигателем для легковых автомобилей среднего потребительского класса. В ее состав входят компоненты электроискрового зажигания и центрального одноточечного впрыска топлива.

Как только в различные системы управления автомобильным двигателем стали внедрять электронную автоматику, сразу стало ясно, что многие функции этих систем одинаковые. Например, для нормального функционирования системы зажигания требуется постоянно определять частоту вращения и нагрузку двигателя. Но то же самое необходимо определять и при работе системы впрыска. Функцию определения частоты вращения двигателя выполняет датчик Холла или любой другой бесконтактный электроимпульсный датчик. Таким образом, датчик частоты вращения становится общим для двух электронных систем автоматического управления на двигателе. Совершенно очевидно, что создавать две во многом одинаковые системы управления нецелесообразно. Проще и дешевле все функции управления двигателем свести в единую систему. Так на автомобильных двигателях появились ЭСАУ — комплексные электронные системы автоматического управления*.

Система "Mono-Motronic", функциональная схема которой показана на рис. 15.1, является типичным представителем ЭСАУ для двигателей легковых автомобилей не выше среднего потребительского класса.

Как видно из рисунка, в эту систему интегрированы функции двух систем управления — системы зажигания и системы моновпрыска топлива. Поэтому второе слово в названии системы — "Motronic" (от MOnoelekTRONIC — единое электронное управление) — символизирует тот факт, что электронный блок 27 выполнен в виде моноблока для двух систем управления. Система разработана фир-

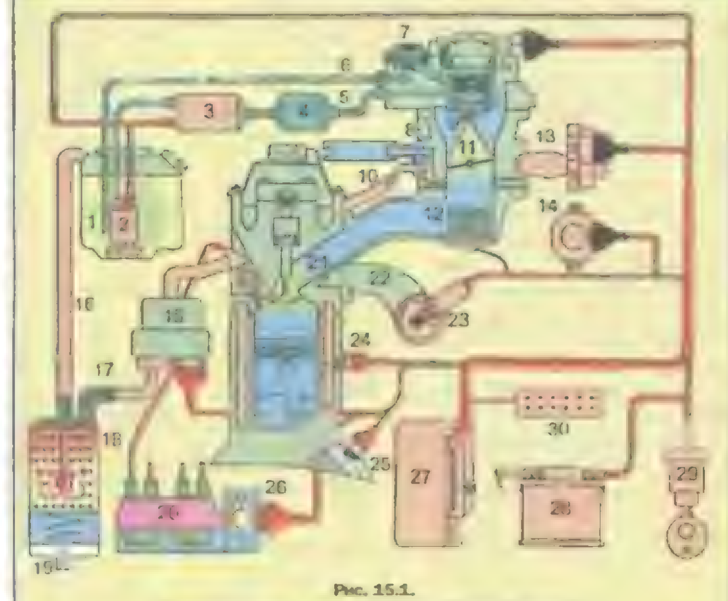


Рис. 15.1.
Функциональная схема системы "Mono-Motronic":
1 — бензобак; 2 — подкачивающий электробензонасос; 3 — основной электробензонасос; 4 — фильтр тонкой очистки топлива; 5 — прямая бензомагистраль; 6 — обратная бензомагистраль; 7 — регулятор давления; 8 — центральный впрыскивающий узел (ЦВУ); 9 — центральная форсунка впрыска (ЦФВ); 10 — шланг для канализации паров бензина; 11 — дроссельная заслонка; 12 — подогреватель впускного коллектора; 13 — электросервопривод дроссельной заслонки; 14 — потенциометрический датчик положения дроссельной заслонки; 15 — запорно-тактовый клапан; 16, 17 — соединительные шланги для угольного фильтра; 18 — угольный фильтр; 19 — входной воздушный штуцер угольного фильтра; 20 — двухвыводные катушки зажигания; 21 — впускной коллектор; 22 — выпускной коллектор; 23 — датчик концентрации кислорода (ДКК); 24 — датчик температуры двигателя (ДТД); 25 — датчик коленвала (ДКВ); 26 — многоканальный модуль зажигания; 27 — контроллер (электронный блок управления — ЭБУ); 28 — аккумуляторная батарея (АКБ); 29 — замок включения зажигания; 30 — диагностический разъем.

** Фирма BOSCH выпускает универсальные электронные блоки управления (ЭБУ) для ЭСАУ двигателем под общим названием "Авторегулятор Motronic". Такие ЭБУ обеспечивают работу любой системы впрыска (К, КЕ, Mono, L) совместно с электронно-цифровой системой зажигания.*

мой BOSCH на основе системы впрыска "Mono-Jetronic" и системы зажигания (TSZ). Начиная с 1978 года система "Mono-Motronic" устанавливалась на тех же легковых автомобилях, что и система "Mono-Jetronic".

• По принципу действия система "Mono-Motronic" мало чем отличается от своих прототипов. Главный функциональный блок — центральный впрыскивающий узел 8, который подробно описан в главе 14, в обеих системах один и тот же. Но в компонентном составе систем есть принципиальные отличия. Если система оборудована механическим датчиком-распределителем, то теперь он не содержит вакуумного регулятора, функции которого выполняет датчик 14 положения дроссельной заслонки.

Но чаще в системе "Mono-Motronic" датчик-распределитель отсутствует, а его функции выполняют два новых устройства: индуктивный датчик коленвала 25 и многоканальный модуль зажигания 26. Контроллер 27 системы "Mono-Motronic" помещен в такой же защитный кожух, как и системы "Mono-Jetronic". Внешнее отличие контроллеров сводится к различию соединительных разъемов по числу выводов: в "Mono-Motronic" 35 выводов, а в "Mono-Jetronic" — 32.

• Наиболее существенным является отличие в подсистемах топливоподачи. Так, система впрыска в "Mono-Motronic" (для автомобилей с ДВС объемом до 1,6 л) оборудована подсистемой дополнительной подкачки бензина. В бензобаке 1 установлен вспомогательный подкачивающий электробензонасос 2 (см. рис. 15.1). Этот насос обеспечивает давление 0,25 бара и прокачивает около 65 л в час (при напряжении 12 В и токе 2 А). Второй (основной) электробензонасос 3 расположен под днищем автомобиля рядом с бензобаком. Этот насос потребляет ток 5 А при напряжении 12 В и создает рабочее давление в прямой топливоподающей магистрали 1,2...1,5 бар (производительность 80 л/ч).

• Несколько измененная подсистема топливного питания (рис. 15.2) оборудована двумя электробензонасосами 4 и 12, а также двумя топливными фильтрами 10 и 13, один из которых (10) используется как резервная емкость (200 мл). Назначение резервной емкости — обеспечивать топливом систему впрыска при значительном боковом крене автомобиля (более 40°) и при прохождении поворотов на большой скорости. Интересно отметить, что обратный слив топлива производится не прямо в бензобак, а через резервную емкость 10. Этим обеспечивается снижение нагрузки на подкачивающий бензонасос 4 и уменьшение потребляемого им тока.

На автомобилях с вертикальным бензобаком (например, на "Audi-80") подкачивающий насос и второй фильтр с резервной емкостью не применяются.

• На автомобилях с мощным двигателем (объемом более 1,8 л) в бензобак устанавливается универсальный бензонапорный узел (БНУ), а подсистема топливоподачи собирается по схеме, показанной на рис. 15.2, но без резервной емкости 10 и с прямым сливом бензина в бензобак. Начиная с 1989 г. такой подсистемой оборудуются автомобили "Volkswagen Corrado G60", а с 1992 года — автомобили "Audi" серии "A".

На рис. 15.3 показан бензонапорный узел в разрезе. Корпус 4 БНУ является гидроаккумулятором 7 с ем-

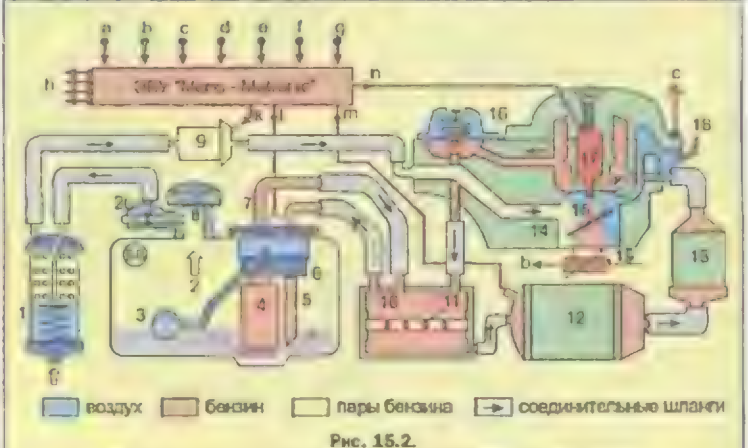


Рис. 15.2.

Подсистема топливного питания системы "Mono-Motronic":

1 — угольный фильтр; 2 — пары бензина в бензобаке; 3 — поплавок указателя уровня топлива; 4 — подкачивающий электробензонасос; 5 — обратная (сливная) бензомагистраль; 7 — прямая бензомагистраль; 8 — горловина бензобака с герметичной пробкой; 9 — запорно-тактовый клапан; 10 — фильтр грубой очистки (резервная емкость); 11 — фильтр грубой очистки топлива; 12 — основной электробензонасос; 13 — фильтр тонкой очистки топлива; 14 — центральный впрыскивающий узел (ЦВУ); 15 — дроссельная заслонка; 16 — регулятор давления; 17 — центральная форсунка впрыска (ЦФВ); 18 — всасываемый воздух; 19 — потенциометрический датчик положения дроссельной заслонки (ДПД); ББ — бензобак; а — сигнал от датчика концентрации кислорода (ДКК); в — сигнал от датчика положения дроссельной заслонки (ДПД); с — сигнал от датчика температуры воздуха (ДТВ); d — сигнал от датчика температуры двигателя (ДТД); е — сигнал от датчика нагрузки двигателя (ДНД); f — сигнал от датчика Холла или от датчика положения и частоты вращения коленвала ДВС (ДКВ); g — сигнал от микровыключателя сервопривода дроссельной заслонки (датчик холостого хода — ДХХ); h — сигналы управления к многоканальному модулю зажигания; k — тактовый сигнал управления запорно-тактовым клапаном; l и m — сигналы включения электробензонасосов; n — электроимпульсный сигнал управления центральной форсункой впрыска.

костью 600 мл. На его боковую наружную поверхность установлен датчик 10 уровня топлива с поплавком 27. Крепится корпус БНУ к днищу 1 бензобака с помощью специального поворотного затвора 2. С прямым 14 и обратным 15 бензоштуцерами бензоподающий узел соединен через герметичную крышку — платформу 13 посредством шлангов 12 и 18 из бензостойкой резины. Внутри корпуса БНУ смонтированы два бензонасоса с приводом от общего электродвигателя 21. Первый подкачивающий бензонасос 5 лопастной, а основной 6 — шестеренчатый (с внутренним зацеплением зубьев). Производительность основного насоса при работе с системой "Mono-Motronic" 80 л/ч, давление 1,2...1,5 бар. Напряжение питания 12 В подается от бортсети по электропроводам 19. Ток потребления 5 А. Выходной канал 25 служит для вытеснения паровых и воздушных пробок, а также излишнего бензина из гидроаккумулятора. Как и в старых конструкциях одноступенчатых электробензонасосов (см. далее главу 23), через электродвигатель прокачивается весь поток бензина.



Рис. 15.3.
Универсальный бензонапорный узел (БНУ) Motronic:
1 — днище бензобака; 2 — крепежный затвор для БНУ; 3 — предварительный ФОТ от крупных фракций; 4 — корпус БНУ; 5 — подкачивающий бензонасос лопастной; 6 — основной бензонасос шестеренчатый; 7 — накопительная полость гидроаккумулятора (600 мл); 8 — подающий патрубок гидроаккумулятора; 9 — ротор приводного электродвигателя; 10 — датчик указателя уровня топлива; 11 — контактная фишка электродвигателя; 12 — прямая бензомагистраль; 13 — установочная крышка-платформа; 14 — бензоподающий штуцер; 15 — сливной штуцер обратной бензомагистрали; 16 — соединительный разъем БНУ; 17 — верх бензобака; 18 — резиновый шланг обратной бензомагистрали; 19 — электрические соединительные провода для электродвигателя и для датчика указателя уровня топлива; 20 — выходной штуцер БНУ; 21 — электродвигатель; 22 — трубка перелива; 23 — корпус бензонасосов; 24 — защитная сетка; 25 — отверстие для слива излишков топлива в гидроаккумуляторе; 26 — сливной поток бензина; 27 — поплавок указателя уровня топлива.

● Важным отличием систем топливного питания современных легковых автомобилей является наличие в них подсистемы утилизации паров бензина с управлением от кислородного датчика. В старых моделях автомобилей без герметизации бензобака пассивные потери топлива (за счет испарения из бензобака и слабых уплотнений в других узлах системы питания) составляют 10...15% от общих выбросов вредных веществ в атмосферу. Бензобак современного легкового автомобиля обязательно герметизирован. Это требует установки в подсистему топливоподачи специальных средств защиты бензобака как от расширения парами бензина, так и от сжатия его стенок разрежением. Разрежение устраняется специальными воздушными клапанами на горловине бензобака, а пары бензина отводятся в специальный резервуар, наполненный активированным углем. Так организуется приточно-вытяжная вентиляция бензобака, работу которой можно пояснить на примере функционирования трехкомпонентного пневмоклапана ТПК.

В состав ТПК (рис. 15.4) входят три отдельных воздушных клапана: перепускной, атмосферный и гравитационный.

Пока давление $P_п$ паров в бензобаке равно атмосферному ($P_a = P_п$), трехкомпонентный пневмоклапан ТПК закрыт (рис. 15.4, а).

Перепускной клапан срабатывает при излишнем давлении паров бензина в бензобаке. Это может быть следствием как высокой температуры воздуха в атмосфере, так и нагрева той части бензина, которая возвращается в бензобак по обратной магистрали от системы впрыска. При этом давление $P_п$ паров в бензобаке выше атмосферного $P_п > P_a$ (рис. 15.4, б), и подвижная платформа 7, преодолевая сопротивление пружины 9, приподнимается вверх, а пары бензина перепускаются через штуцера 1 и 10 в угольный фильтр.

Если в бензобаке возникает разрежение ($P_a > P_п$, рис. 15.4, в), то платформа 7 под действием пружины 9 опускается вниз и плотно прижимает уплотнитель 11 к опоре 5. При этом вступает в работу атмосферный клапан. Эластичная шайба 6 атмосферного клапана под напором атмосферного давления прогибается вниз, а воздух через жиклер 8, кольцевую щель 12 и далее через штуцер 1 поступает в бензобак.

Гравитационный клапан (рис. 15.4, г) предназначен для предотвращения утечки топлива из бензобака че-



Рис. 15.4.
Трехкомпонентный пневмоклапан горловины бензобака:
а — клапан закрыт (атмосферное давление Ра равно давлению Рп паров бензина в бензобаке); б — клапан открыт на впуск атмосферного воздуха в бензобак (Ра>Рп.); в — клапан открыт на выпуск паров (воздуха из бензобака (Ра<Рп); г — клапан закрыт гравитационным запорным устройством (наклон автомобиля более 40°); 1 — штуцер для соединения клапана с бензобаком; 2 — наклонная плоскость для перемещения подвижной платформы 4 гравитационного запорного устройства (ГРУ); 3 — каток (стальной шарик) ГРУ; 4 — подвижная платформа ГРУ; 5 — опора для клапанов; 6 — эластичная шайба для впуска атмосферного воздуха (атмосферный клапан); 7 — подвижная платформа (перепускной клапан) пневмоклапана; 8 — жиклер атмосферного клапана; 9 — пружина возвратная тарированная; 10 — штуцер для соединения клапана с угольным фильтром; 11 — уплотнитель пневмоклапана (кольцо из эластичной резины); 12 — кольцевая перепускная щель; 13 — эластичный уплотнитель ГРУ; 14 — корпус пневмоклапана; Р — сила тяготения катка.

рез пневмоклапан в угольный фильтр при большом крене автомобиля (более 40°) или при его опрокидывании во время аварии. Этот клапан содержит гравитационный каток 3 (металлический шарик), который свободно перекатывается внутри подвижной платформы 4. Сама платформа при наклоне автомобиля перемещается по наклонной плоскости 2, приподнимается вверх и перекрывает эластичным уплотнителем (конусным затвором) 13 перепускную кольцевую щель 12 к угольному фильтру (к штуцеру 10).

- Подсистема утилизации паров бензина из бензобака, которая применяется в системе "Mono-Motronic", показана на рис. 15.5.

Гранулы 14 активированного угля обладают свойством легко улавливать и удерживать частицы бензина и так же легко их отдавать в подвижный поток 18 воздуха. Это свойство используется для накопления паров бензина из бензобака в угольном фильтре 16, пока двигатель не работает. При работе двигателя угольный фильтр продувается потоком 18 чистого всасываемого воздуха. При этом пары бензина покидают угольный фильтр и, попадая во впускной коллектор, несколько обогащают приготовленную центральным впрыскивающем узлом 1 ТВ-смесь. Чтобы обогащение происходило в нужное время, подсистема утилизации паров бензина оборудована запорно-тактовым клапаном 6, который обеспечивает перепуск паров бензина отдельными порциями на тех режимах работы двигателя, при которых датчик концентрации кислорода (ДКК) 10 указывает на необходимость обогащения ТВ-смеси. Как и все устройства с электронным управлением, запорно-тактовый клапан 6 подсистемы утилизации срабатывает от импульсных сигналов ЭБУ 11. Частота тактирования формируется в ЭБУ по сигналу от датчика концентрации кислорода 10 таким образом, что обогащение ТВ-смеси парами бензина не выходит за рамки допустимого значения для коэффициента α.

Последовательность работы подсистемы утилизации следующая.

Когда зажигание не включено, запорно-тактовый клапан 6 закрыт. Пары бензина 19 из бензобака под действием температурного расширения по резиновому шлангу 17 канализируются в угольный фильтр 16, где осаждаются на частицах 14 активированного угля. При включении зажигания на провод 15 подается напряжение 12 В, но запорно-тактовый клапан остается закрытым, так как с "массой" его разобщает закрытый транзистор в ЭБУ. Клапан откроется во время работы ДВС по сигналу от ЭБУ, когда системе впрыска потребуется обогащение ТВ-смеси. В это время пары бензина сдуваются с поверхности гранул 14 активированного угля атмосферным воздухом 18 во впускной коллектор и по цепочке — шланг 7, открытый клапан 6, шланг 9 — начнут поступать в задроссельную зону центрального впрыскивающего узла 1 и далее во впускной коллектор и в цилиндры ДВС. Если же температура двигателя, которая измеряется датчиком 8 ДТД, ниже +60°С, то сигнал от ЭБУ на запорно-тактовый клапан 6 не поступает, чем не допускается переобогащение ТВ-смеси. Таким образом, система утилизации паров бензина срабатывает на прогретом двигателе при форсированных режимах его работы. Аналогичная подсистема утилизации паров бензина применяется и в ранее описанной системе "Mono-Jetronic".

- В системе "Mono-Motronic" стабилизация оборотов холостого хода с помощью электросервопривода допол-

нена функцией управления по углу опережения зажигания. Электросервопривод подсистемы стабилизации холостого хода включается в работу после замыкания контакта концевого выключателя. Если температура охлаждающей жидкости в ДВС ниже −28°С, то толкатель сервопривода открывает дроссельную заслонку на 20 угловых градусов. После прогрева двигателя ($T_д$ = 85°С) исходное положение дроссельной заслонки на холостом ходу не превышает 3° от положения полного закрытия. Отсюда ясно, что максимальное перемещение дроссельной заслонки с помощью сервопривода не превышает 17°. Сервопривод срабатывает только тогда, когда частота вращения двигателя на холостом ходу отклоняется от номинальной на ±30 $мин^{-1}$. Для современных двигателей с устойчивой частотой вращения на холостом ходу не более 600 $мин^{-1}$ этого недостаточно. Именно поэтому в системе "Mono-Motronic" применена подсистема стабилизации оборотов холостого хода по углу опережения зажигания. Она работает в интервале изменений угла ±12° от установившегося значения для номинальных оборотов холостого хода. Скорость срабатывания такой подсистемы стабилизации очень высокая. Частота вращения двигателя восстанавливается за 2...3 мс (что не превышает временного интервала между соседними вспышками в свече зажигания). Если бы такая же чувствительность была заложена в управление электросервоприводом, то ДВС стал бы работать неустойчиво с нарастанием и падением оборотов по пилообразному закону (что иногда имеет место на реальном двигателе при некоторых неисправностях в подсистеме стабилизации холостого хода).

∘ Как уже отмечалось, контроллер системы "Mono-Motronic" включает в себя функции управления параметрами системы зажигания. Известно, что с увеличением оборотов двигателя зажигание становится более ранним. При увеличении нагрузки зажигание становится более поздним. Информация обо всех возможных текущих значениях угла опережения зажигания при изменении частоты вращения и нагрузки двигателя заложена в блоке постоянной памяти ЭБУ в виде эталонной трехмерной характеристики зажигания (см. рис. 9.6). В системе "Mono-Motronic" нагрузка двигателя определяется по сигналу от датчика положения дроссельной заслонки (дроссельного потенциометра), в некоторых модификациях системы — по датчику разрежения в задроссельной зоне впускного коллектора (датчик MAP).

В качестве датчика частоты вращения в системе "Mono-Motronic" для двигателей автомобилей среднего потребительского класса обычно используется датчик Холла в механическом датчике-распределителе. По сиг-

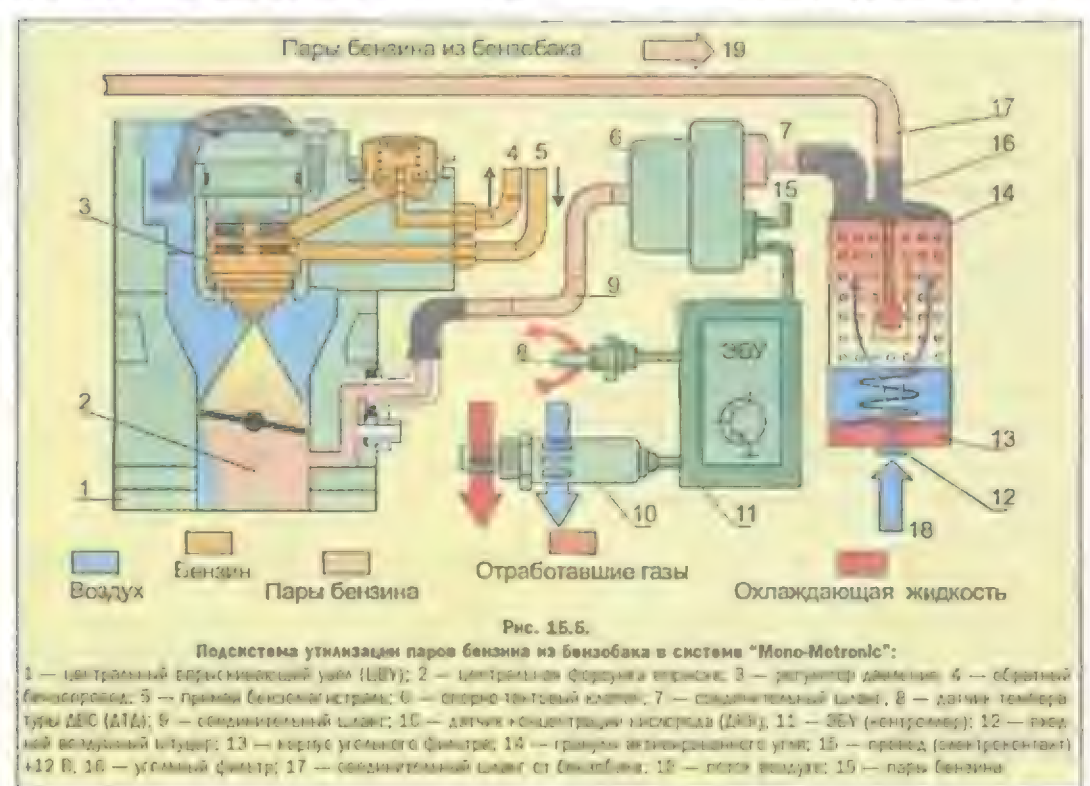


Рис. 15.6.

Подсистема утилизации паров бензина из бензобака в системе "Mono-Motronic":

1 — центральный впрыскивающий узел (ЦВУ); 2 — центральная форсунка впрыска; 3 — регулятор давления; 4 — обратный бензопровод; 5 — прямая бензомагистраль; 6 — опорно-тактовый клапан; 7 — соединительный шланг; 8 — датчик температуры ДВС (ДТД); 9 — соединительный шланг; 10 — датчик концентрации кислорода (ДКК); 11 — ЭБУ (контроллер); 12 — входной воздушный штуцер; 13 — корпус угольного фильтра; 14 — гранулы активированного угля; 15 — провод (электроконтакт) +12 В; 16 — угольный фильтр; 17 — соединительный шланг от бензобака; 18 — поток воздуха; 19 — пары бензина

налу датчика Холла с помощью ЭБУ корректируется угол опережения зажигания по каждому цилиндру в отдельности. Диапазон регулирования –50...+5 угловых градусов относительно верхней мертвой точки (ВМТ). Но есть системы, в которых частота вращения и угловое положение коленвала определяются не датчиком Холла на распределителе, а индуктивным датчиком с зубчатым диском на коленчатом вале двигателя.

• Конструктивное исполнение компонентов системы зажигания может быть реализовано в двух вариантах. Первый вариант — с механическим датчиком-распределителем, когда сигнал о частоте вращения и положении коленвала формируется датчиком Холла, а распределение высоковольтного напряжения по свечам осуществляется механическим ротационным распределителем. В этом случае выходной каскад системы зажигания выполняется как самостоятельный конструктивный узел, в котором объединены воедино транзисторный коммутатор и катушка зажигания (рис. 15.6).

Второй вариант — без датчика-распределителя (см. рис. 15.1). Здесь частота вращения и положение коленвала фиксируются с помощью одного или двух индуктивных датчиков, расположенных у коленчатого вала (датчик 25 ДКВ), а распределение высокого напряжения по свечам статическое, с помощью многоканального модуля 26 зажигания и двухвыводных катушек зажигания 20. Индуктивные датчики (если их два) располагаются над роторным диском коленвала либо над зубцами венечной шестерни маховика двигателя. Если применяется роторный диск, то он может быть расположен как на переднем, так и на заднем торце вала двигателя. Ферромагнитные зубцы роторного диска активируют магнитоэлектрическую систему датчика, и он вырабатывает пик напряжения на каждый зубец. Один из датчиков ДКВ предназначен для определения частоты вращения ДВС (датчик ДОД), а другой — для фиксации момента начала отсчета угла (УОЗ) опережения зажигания (датчик ДНО). Роторный диск имеет две дорожки зубцов, а на маховике для датчика ДНО устанавливается специальный ферромагнитный штырек (см. далее рис. 21.5).

Возможен вариант исполнения с одним датчиком коленвала. При этом роторный диск имеет одну дорожку активаторов, но с пропуском одного зубца в том месте, которое находится за 50° до ВМТ первого цилиндра. Тогда от места пропуска зубца формируется импульсный сигнал начала отсчета для УОЗ.

• Датчик температуры охлаждающей жидкости ДВС помимо работы в системе впрыска используется для коррекции угла зажигания в сторону опережения. Краевой контакт в электросервоприводе, сигнализирующий о закрытом состоянии дроссельной заслонки (датчик режима холостого хода), является датчиком для включения подсистемы электронной стабилизации оборотов на холостом ходу по коррекции зажигания. В режиме принудительного холостого хода этим же сигналом вводится в действие режим торможения двигателем, при котором впрыск топлива прекращается, а угол зажигания переводится в сторону опережения.

В системе "Mono-Motronic" предусмотрено выключение центральной форсунки впрыска (ЦФВ) и в тех случаях, когда частота вращения двигателя становится выше допустимой (6500...7000 $мин^{-1}$). Это делается не только с целью защиты двигателя от перегрузки, но и для защиты окружающей среды от интенсивного выброса токсичных газов. Дело в том, что на предельных оборотах (режим полной нагрузки двигателя) система впрыска бензина работает с максимальным обогащением ТВ-смеси и кислородный датчик, работающий на понижение токсичности, блокируется в ЭБУ. При этом токсичность ОГ заметно повышается.

Двигатель, работающий под управлением системы "Mono-Motronic", помимо кислородного датчика обязательно содержит в выпускном тракте трехкомпонентный каталитический газонейтрализатор.

• Электронная автоматика управления зажиганием в системе "Mono-Motronic" содержит в своем составе электронную схему регулирования времени протекания тока в индуктивном накопителе. Такое регулирование обеспечивает максимально возможное при данном режиме работы ДВС накопление энергии в катушке зажигания. Кроме того, для электропитания ответственных электронных схем в ЭБУ "Mono-Motronic" имеется стабилизатор напряжения на 5 В. Это обеспечивает устойчивую работу систем

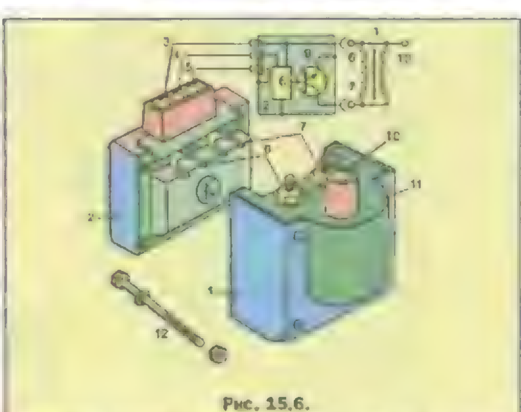


Рис. 15.6.
Выходной каскад системы зажигания в "Mono-Motronic":
1 — высоковольтный трансформатор зажигания; 2 — транзисторный коммутатор; 3 — контакт для подачи +12 В от бортсети; 4 — контакт для подачи сигнала зажигания S от контроллера; 5 — контакт для соединения с массой; 6, 7 — соединители коммутатора с трансформатором зажигания; 8 — электронная схема коммутатора; 9 — силовой транзистор; 10 — высоковольтный вывод трансформатора (к ротационному распределителю); 11 — заливка трансформатора эпоксидным компаундом; 12 — стяжной болт.

впрыска и зажигания при значительном падении напряжения в бортсети автомобиля (например, при пуске двигателя зимой).

● К важным преимуществам системы "Mono-Motronic" относится ее способность перенастраивать работу двигателя под: изменяющиеся атмосферные условия (температура, влажность, давление); эксплуатационный износ деталей; изменение октанового числа бензина; неконтролируемое нарушение герметичности впускного коллектора; частичную потерю компрессии в цилиндрах. ЭСАУ с такими свойствами называются адаптивными или самообучающимися, так как они способны осуществлять автокоррекцию исходных регулировок ДВС. Двигатель, оборудованный адаптивной ЭСАУ, может эксплуатироваться без регулировки оборотов холостого хода и без проверки содержания токсичных веществ в отработавших газах.

● Для регистрации дефектов и неполадок, вызывающих значительные (заштатные) отклонения эксплуатационных параметров и характеристик двигателя, в авторегуляторе системы "Mono-Motronic" имеется регистратор неисправностей. Регистратор занимает часть объема оперативной памяти и представляет собой запоминающее устройство с интерфейсом для бортовой самодиагностики. Все регистраторы неисправностей сохраняют информацию и после выключения зажигания, но информация "разрушается", если от бортсети отключить аккумуляторную батарею. Информация регистратора может быть "стерта" и по специальной команде. В отличие от средств самодиагностики с чек-кодированием* (применяется в системе "Mono-Jetronic") в системе "Mono-Motronic" коды неисправностей подаются на специальный диагностический разъем (см. рис. 15.1, поз. 30) и могут быть считаны в виде текстово-цифровой информации дефекточитающим сканером "V.A.G.1551-BOSCH" с дисплеем на жидких кристаллах. Сканер имеет четыре режима работы:

Function 1 (F1) — подготовка к работе и диагностика в режиме чек-кодирования;

Function 2 (F2) — работа с текстово-цифровой информацией;

Function 3 (F3) — диагностика исполнительных звеньев;

Function 4 (F4) — установка зажигания и считывание полного объема информации из регистратора неисправностей.

В режиме F1 сканер проверяется и подготавливается к работе. В режиме F2 поочередной диагностике могут быть подвергнуты следующие устройства: ЭБУ (контроллер "Mono-Motronic"); концевой выключатель электросервопривода; электродвигатель сервопривода; дроссельный потенциометр (датчик ДПД); датчик температуры воздуха (ДТВ); датчик температуры двигателя (ДТД); датчик Холла (ДОД); датчик концентрации кислорода (ДКК); электронная схема (подсистема) регулирования коэффициента α (избытка воздуха); электронная схема управления электробензонасосом.

Режим F3 предназначен для проверки работоспособности и поиска неисправностей в следующих исполнительных звеньях: электросервоприводе дроссельной заслонки; реле электроподогрева впускного коллектора; цепи электроподогрева кислородного датчика; в запорно-тактовом клапане подсистемы утилизации паров бензина из бензобака. В этом же режиме на перечисленные устройства можно подавать электрические сигналы управления с целью проверки их работоспособности.

В режиме F4 сначала осуществляется проверка установочного (штатного) значения угла опережения зажигания (УОЗ). При этом сканер на работающем двигателе отключает всю электронную автоматику управления и выдает на дисплей текстовую команду "Grundeinstellung einleiten" ("приступить к исходной регулировке"). Если система "Mono-Motronic" оборудована датчиком-распределителем с приводным валиком, то необходимо его поворотом установить штатное (исходное) значение УОЗ, которое для данного типа двигателя указывается на дисплее сканера. Изменяющиеся при регулировке значения УОЗ также отображаются на дисплее. После установки УОЗ или если его номинальное значение не нарушено, а также если проверке подвергается система "Mono-Motronic" без датчика-распределителя, то на дисплей сканера выводится полный объем диагностической информации из регистратора неисправностей. Высвечивается 10 цифровых фраз, каждая из которых представляет собой код результата проверки конкретного компонента комплексной ЭСАУ. Расшифровку фраз проводят с помощью таблицы кодов неисправностей, которая прилагается к инструкции по ремонту и эксплуатации автомобиля.

● В заключение следует отметить, что с использованием принципа комплексного автоматического управления параметрами и характеристиками автомобильного двигателя создан целый ряд систем моновпрыска бензина. Все они подобны вышеописанной системе "Mono-Motronic". Выпускают такие системы и японские, и американские, и некоторые западноевропейские заводы автомобильного приборостроения. Делают системы моновпрыска бензина и в России.

** Чек-кодирование — воспроизведение цифровых кодов числом миганий одной чек-лампой. Иногда применяется двоичное чек-кодирование несколькими лампами или светодиодами (по числу разрядов в коде).*

Глава шестнадцатая

КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ "ЭСАУ-ВАЗ"

С 1993 года, Тольяттинский завод "АвтоВАЗ" начал устанавливать на автомобилях ВАЗ-21044 (универсал) и ВАЗ-21214 (джип) систему топливного питания с центральным впрыском бензина. Эта система создана на основе системы "Mono-Motronic" и представляет собой комплексную электронную систему автоматического управления (ЭСАУ) двигателем, в которую помимо управления впрыском бензина входит и управление электроискровым зажиганием. Отечественная система не имеет специального названия, поэтому здесь она обозначена как система "ЭСАУ-ВАЗ".

16.1. Устройство и работа системы

- Функциональная схема системы "ЭСАУ-ВАЗ" показана на рис. 16.1*.

В этой системе некоторая часть комплектующих изделий на начальном этапе выпуска была импортного производства. Основные из них — это центральный впрыскивающий узел (ЦВУ) 9, устройство которого подробно описано в главе 14; иногда устанавливался электронный блок управления ЭБУ — контроллер системы "Mono-Motronic". Все остальные изделия отечественного производства.

- В функциональном отношении "ЭСАУ-ВАЗ" в сравнении с системой "Mono-Motronic" имеет некоторую специфику. С учетом эксплуатации автомобилей в России на различных сортах бензина система оснащена потенциометрическим октан-корректором 22 (датчик ДОК). Первоначальная установка угла опережения зажигания (УОЗ) реализуется с применением отечественного диагностического тестера "TECH1". Установка УОЗ без прибора невозможна.

- Датчик-распределитель с механическим приводом от коленчатого вала (КВ) в системе "ЭСАУ-ВАЗ" не применяется. Его функции выполняют два устройства: выходной многоканальный модуль 1 зажигания (ВМЗ) со статическим распределением высокого напряжения по свечам 10 и магнитоэлектрический (индуктивный) датчик 36 (ДКВ) частоты вращения и положения КВ, который срабатывает от ферромагнитного роторного диска 35, установленного на переднем торце 37 вала двигателя. Роторный диск имеет шесть прорезей через 60° и одну — за 50° до прорези, положение которой соответствует верхней мертвой точке (ВМТ) в первом цилиндре. Зазор L между датчиком и роторным диском не более 1,3 мм.

Главное преимущество индуктивного датчика ДКВ — простота исполнения и конструктивная надежность. Основной недостаток — зависимость амплитуды и формы сигнала от частоты вращения коленвала ДВС, что на низких частотах приводит к погрешности определения угла поворота коленвала. Особенно заметно это проявляется, когда на магнитный щуп датчика оседают мелкие частицы ферромагнитной пыли, и тогда возникают проблемы с запуском холодного двигателя зимой.

- Для определения постоянно изменяющейся нагрузки двигателя в системе предусмотрен тензометрический датчик 21 (ДНД), который реагирует на изменение абсолютного давления (на разрежение) в задроссельной зоне впускного коллектора 18. Датчик установлен в подкапотном пространстве на передней панели и соединен вакуумным шлангом со штуцером на дроссельном модуле, а электропроводами — с контроллером (с ЭБУ).

- В системе "ЭСАУ-ВАЗ" прекращение подачи топлива для режимов принудительного холостого хода (ПХХ) и ограничения максимальной частоты вращения двигателя (ОЧВ) реализуются не так, как в системе "Mono-Motronic". В "Mono-Motronic" используются сигналы от датчика положения дроссельной заслонки и от датчика частоты вращения двигателя. Если частота вращения выше 2100 $мин^{-1}$, а дроссельная заслонка закрыта, то подача топлива прекращается (на центральную форсунку от ЭБУ не подается электрический импульс управления). То же самое происходит, если частота вращения двигателя становится выше 6500 $мин^{-1}$ (независимо от положения дроссельной заслонки).

В отечественной системе в этих режимах дополнительно используется датчик 33 (ДСА) скорости движения автомобиля. Этот датчик установлен на коробке (КПП) переключения передач (ВАЗ21044) или на раздаточной коробке (ВАЗ-21214). В датчике скорости использован эффект Холла, магнитная шторка которого (датчика) установлена на выходном валу 38. Использо-

** Для наиболее полного изучения устройства и принципа действия отечественной "ЭСАУ-ВАЗ" предварительно необходимо ознакомиться с системами "Mono-Jetronic" (гл. 14) и "Mono-Motronic" (гл. 15) фирмы BOSCH.*

вание датчика скорости в режиме ОЧВ позволяет ограничивать частоту вращения двигателя не всегда, а только на прямой или повышенной передачах в КПП. На пониженных передачах система ограничения оборотов не срабатывает. В режиме ПХХ сигнал от датчика скорости не позволяет выключать подачу топлива при высоких оборотах двигателя, но при низкой скорости движения автомобиля (на пониженных передачах). Это обеспечивает более высокую устойчивость движения автомобиля при торможении и управлении двигателем.

• В подсистеме стабилизации холостого хода используется клапан дополнительной подачи воздуха (байпасный клапан) с сервоприводом от шагового электродвигателя вместо реверсного двигателя постоянного тока в системе "Mono-Motronic", где он управляет дроссельной заслонкой.

Шаговый двигатель (ШД) байпасного канала показан на рис. 16.2. Он не имеет люфта и значительно меньше по размерам. Концевого выключателя в ШД нет и режим холостого хода фиксируется по сиг-

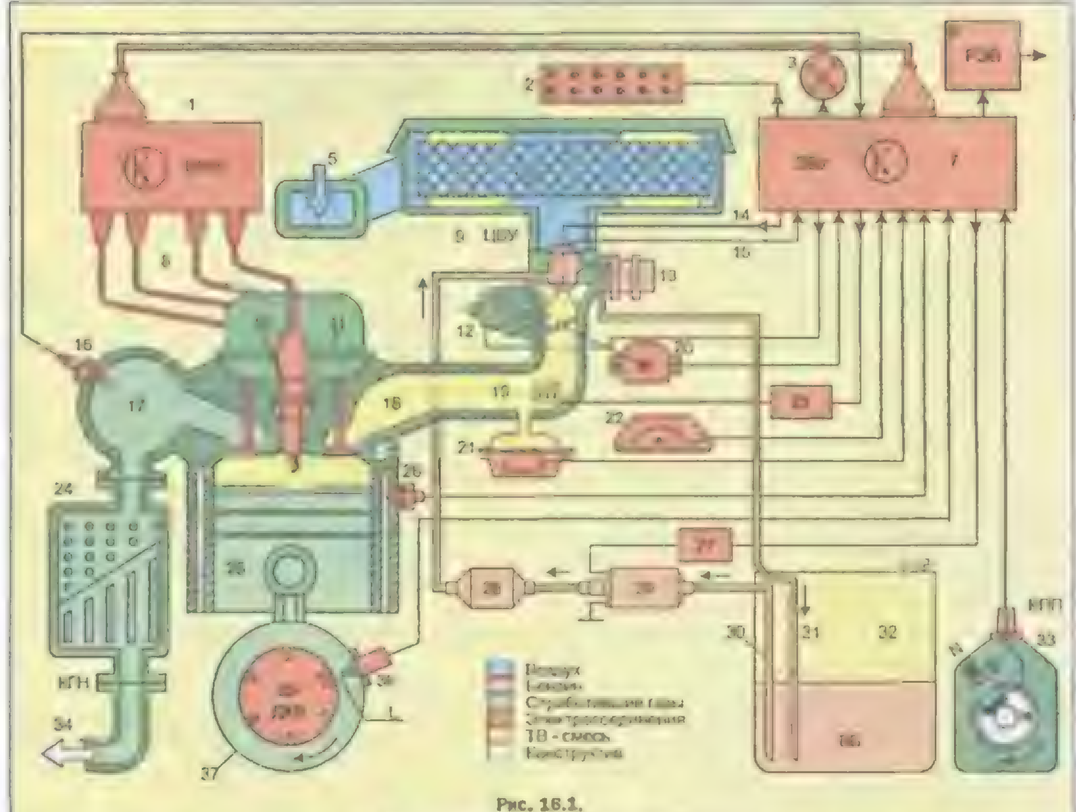


Рис. 16.1.
Функциональная схема "ЭСАУ-ВАЗ":

1 — выходной модуль зажигания (ВМЗ); 2— диагностический разъем; 3 — чек-лампа; 4 — реле (РЭВ) электровентилятора охлаждения ДВС; 5 — впускное сопло воздушного фильтра (ВФ); 6 — фильтрующий элемент ВФ; 7 — контроллер (электронный блок управления — ЭБУ); 8 — высоковольтные провода; 9 — центральный впрыскивающий узел (ЦВУ) с центральной форсункой впрыска (ЦФВ) и датчиком (ДТВ) температуры воздуха; 10 — свеча зажигания; 11 — впускной клапан; 12 — шаговый электродвигатель байпасного канала (ШД); 13 — регулятор рабочего давления; 14 — сигнал к ЦФВ; 15 — сигнал от ДТВ; 16 — датчик (ДКК) концентрации кислорода; 17 — выпускной коллектор; 18 — впускной коллектор; 19 — электроподогреватель ТВ-смеси; 20 — потенциометрический датчик (ДПД) положения дроссельной заслонки; 21 — тензометрический датчик (ДНД) нагрузки двигателя; 22 — потенциометрический датчик (ДОК) октан-корректора; 23 — реле подогревателя; 24 — каталитический газонейтрализатор (КГН); 25 — поршень ДВС; 26 — датчик (ДТД) температуры двигателя; 27 — реле бензонасоса; 28 — ФТОТ; 29 — электробензонасос; 30 — прямая бензомагистраль; 31 — обратная бензомагистраль; 32 — бензобак (ББ); 33 — датчик (ДСА) скорости автомобиля (на эффекте Холла); 34 — отработавшие газы (к глушителю); 35 — роторный диск датчика (ДРВ) положения и частоты вращения коленвала ДВС; 36 — датчик ДРВ; 37 — торец коленвала ДВС; 38 — выходной вал КПП.

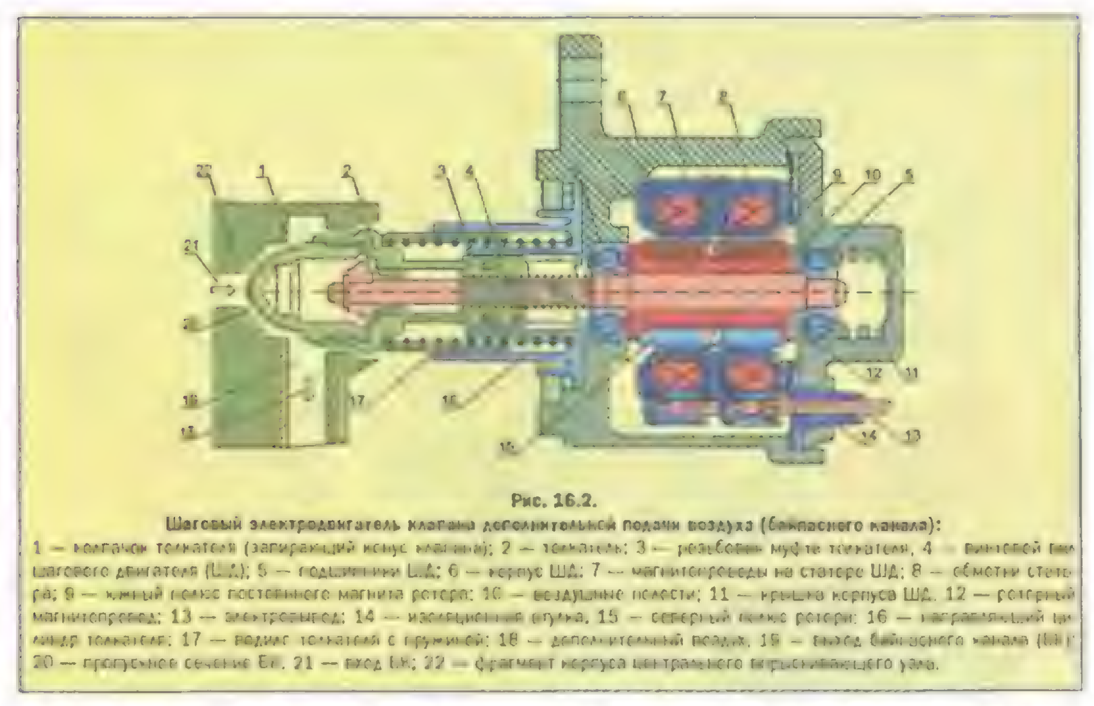


Рис. 16.2.

Шаговый электродвигатель клапана дополнительной подачи воздуха (байпасного канала):
1 — колпачок толкателя (запирающий конус клапана); 2 — толкатель; 3 — резьбовая муфта толкателя; 4 — винтовой вал шагового двигателя (ШД); 5 — подшипники ШД; 6 — корпус ШД; 7 — магнитопроводы на статоре ШД; 8 — обмотки статора; 9 — южный полюс постоянного магнита ротора; 10 — воздушные полости; 11 — крышка корпуса ШД; 12 — роторный магнитопровод; 13 — электровывод; 14 — изоляционная втулка; 15 — северный полюс ротора; 16 — направляющий цилиндр толкателя; 17 — поводок толкателя с пружиной; 18 — дополнительный воздух; 19 — выход байпасного канала (БК); 20 — пропускное сечение БК; 21 — вход БК; 22 — фрагмент корпуса центрального впрыскивающего узла.

налу датчика положения дроссельной заслонки (поз. 20 на рис. 16.1).

Стабилизация холостого хода реализуется путем изменения пропускного сечения 20 байпасного (обводного) канала для подачи дополнительного воздуха 18, минуя диффузор дроссельной заслонки. Сечение байпасного канала увеличивается или уменьшается за счет возвратно-поступательного перемещения в нем запирающего конуса 1 клапана байпасного канала. Запирающий конус перемещается туда или обратно шаговым электродвигателем 6 по импульсным сигналам управления от ЭБУ (от контроллера).

- Схема электрических соединений "ЭСАУ-ВАЗ" приведена на рис. 16.3 в виде фрагмента общей схемы электрооборудования автомобиля.

В системе "ЭСАУ-ВАЗ" предусмотрено двойное управление электровентилятором системы охлаждения двигателя. Вентилятор может включаться как от обычного электроконтактного термодатчика 110, так и по сигналу СВВ включения вентилятора от ЭБУ, что значительно повышает надежность защиты системы охлаждения от перегрева.

Так как в системе применяется низкоомная ($R_Ф$ = 1,5 Ом) центральная форсунка впрыска 96 (ЦФВ), то амплитуда тока управляющего импульса ограничена дополнительным сопротивлением в 1 Ом (сопротивление установлено в ЭБУ).

В самодиагностике системы "ЭСАУ-ВАЗ" применяется чек-кодирование лампой 94. Остальные функции и компоненты "ЭСАУ-ВАЗ" такие же, как и в системе "Mono-Motronic". В частности, на автомобилях, поставляемых на экспорт, устанавливается экологическая система с датчиком 98 концентрации кислорода (ДКК) и с трехкомпонентным каталитическим газонейтрализатором (КГН на рис. 16.1).

2. Диагностика и поиск неисправностей

Рассмотрим процедуры диагностики и поиска неисправностей в системе "ЭСАУ-ВАЗ". На рис. 16.4 показана коммутационная схема "ЭСАУ-ВАЗ", по которой можно быстро найти любой компонент системы и его соединения с контроллером (с ЭБУ).

- Если при прокручивании стартером двигатель не запускается, а аккумуляторная батарея и ее соединения с бортсетью в норме, то этому есть пять причин:

1. Отказ в системе зажигания.
2. Не работает центральная форсунка впрыска (ЦФВ).
3. Неисправна или засорена подсистема подачи топлива.
4. Есть неполадки в контроллере (в ЭБУ) системы.
5. Нет бензина в бензобаке.

После заправки бензином поиск неисправности надо начинать с проверки системы зажигания. Это делается традиционным способом: поочередно про-

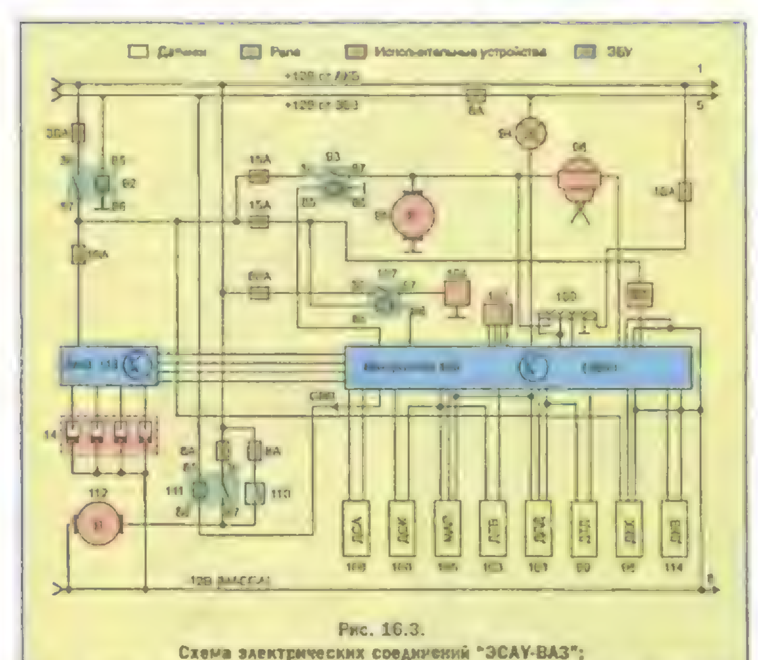


Рис. 16.3.
Схема электрических соединений "ЭСАУ-ВАЗ":
92 — "Х-реле"; 93 — реле электробензонасоса; 94 — чек-лампа; 95 — электродвигатель бензонасоса; 96 — центральная форсунка впрыска (ЦФВ); 97 — электропневмоклапан вентиляции бензобака; 98 — датчик (ДКК) концентрации кислорода; 99 — датчик (ДТА) температуры ДВС; 100 — диагностический разъем; 101 — датчик (ДПД) положения дросселя; 102 — шаговый электродвигатель байпасного канала; 103 — датчик (ДТВ) температуры воздуха; 104 — электроподогреватель ТВ-смеси; 105 — датчик (ДНД) нагрузки ДВС (по разрежению во впускном коллекторе); 106 — датчик (ДОК) октан-корректора; 107 — реле подогревателя ТВ-смеси; 108 — датчик (ДСА) скорости автомобиля; 109 — контроллер (ЭБУ); 110 — электроконтактный термодатчик включения электродвигателя вентилятора охлаждения ДВС; 111 — реле электродвигателя вентилятора охлаждения ДВС; 112 — электродвигатель вентилятора; 113 — выходной модуль зажигания (ВМЗ); 114 — индуктивный датчик (ДКВ) частоты вращения и положения коленвала.

веряются искры на свечах зажигания при прокручивании двигателя стартером.

Проверку системы зажигания "на искру" следует проводить с соблюдением требований техники безопасности и с применением специального разрядника (см. рис. 11.9). Однако если разрядника нет, то проверить систему зажигания на "искру" можно следующим образом. Необходимо жестко установить на двигателе заведомо исправную запасную свечу зажигания и, поочередно подключая к ней провода от рабочих свечей, каждый раз кратковременно прокручивать двигатель стартером. Целесообразно иметь также длинный запасной высоковольтный провод. Прижимать запасную свечу к двигателю руками категорически запрещается. Необходимо заранее изготовить уголковый держатель для свечи и привернуть его к двигателю. При отсутствии искры хотя бы на одном из выводов выходной модуль зажигания (ВМЗ) подлежит замене.

Однако следует иметь в виду, что очень часто причиной "отказа" системы зажигания является противоугонная подсистема автомобиля, в которой, как правило, предусмотрено отключение электропитания от системы зажигания при включении защиты. Противоугонную систему необходимо также проверить.

Система зажигания в "ЭСАУ-ВАЗ" обладает достаточно высокой надежностью, чаще причинами незапуска двигателя являются неисправности в системе топливного питания.

- В системе впрыска в первую очередь надо проверить входные датчики (98, 99, 101, 103, 105, 106, 108, 114) и электронный блок управления (контроллер 109). Для этого система "ЭСАУ-ВАЗ" оснащена системой самодиагностики с чек-лампой ЧЛ (94) и диагностическим разъемом ДР (100).

Чек-лампа выдает номер неисправности в виде двухразрядного пятиричного кода (2/5). Таблица неисправностей, которая прилагается к инструкции по ремонту и эксплуатации автомобиля, содержит 19 кодов (остальная часть цифровой кодовой таблицы не используется).

Первый код "12" означает, что система диагностики готова к работе; последний код "55" указывает на неполадки в контроллере (в ЭБУ).

Двухразрядный пятиричный код высвечивается чек-лампой с помощью миганий. Чек-лампа ("CHECK engin" — контроль двигателя) установлена на щитке приборов. Лампа высвечивает две серии (последовательности) коротких вспышек по 0,5 с до пяти миганий в каждой последовательности. Первая последовательность — старший разряд кода, вторая — младший. Интервалы между вспышками в разряде 0,5 с, а между разрядами 1 с; интервал между кодами 2 с. Например, код "13" (нет сигнала с кислородного датчика) имеет вид: _Ⲡ_ⲠⲠⲠ__Ⲡ_ (одна короткая вспышка 0,5 с, интервал между разрядами 1 с, три коротких вспышки по 0,5 с с интервалами 0,5 с между вспышками, интервал 2 с между кодами).

Код каждой неисправности высвечивается по три раза. Если в регистраторе ЭБУ записаны коды не-

скольких неисправностей, то они выдаются в порядке возрастания двухразрядного пятиричного числа в номере неисправности.

• Для того чтобы подсистема самодиагностики включилась в работу, а чек-лампа начала высвечивать коды неисправностей, необходимо перемкнуть контакты А и В в диагностическом разъеме и включить зажигание, не запуская двигатель. При этом лампа должна отработать код "12" (три раза) и далее коды всех неисправностей. Если неисправностей в системе нет, то код "12" будет постоянно повторяться. Коды всех неисправностей необходимо записать на бумагу, после чего можно приступить к их анализу и устранению неполадок в ЭСАУ.

Помимо неисправностей в основных компонентах ЭСАУ, возможны неисправности в цепях коммутации кодов (в соединениях) или в самой чек-лампе. Тогда чек-лампа не загорается. В этом случае надлежит проверить предохранитель П6 (8 А) в моноблоке предохранителей, чек-лампу и ее патрон, контакт 6 в белом разъеме ком-

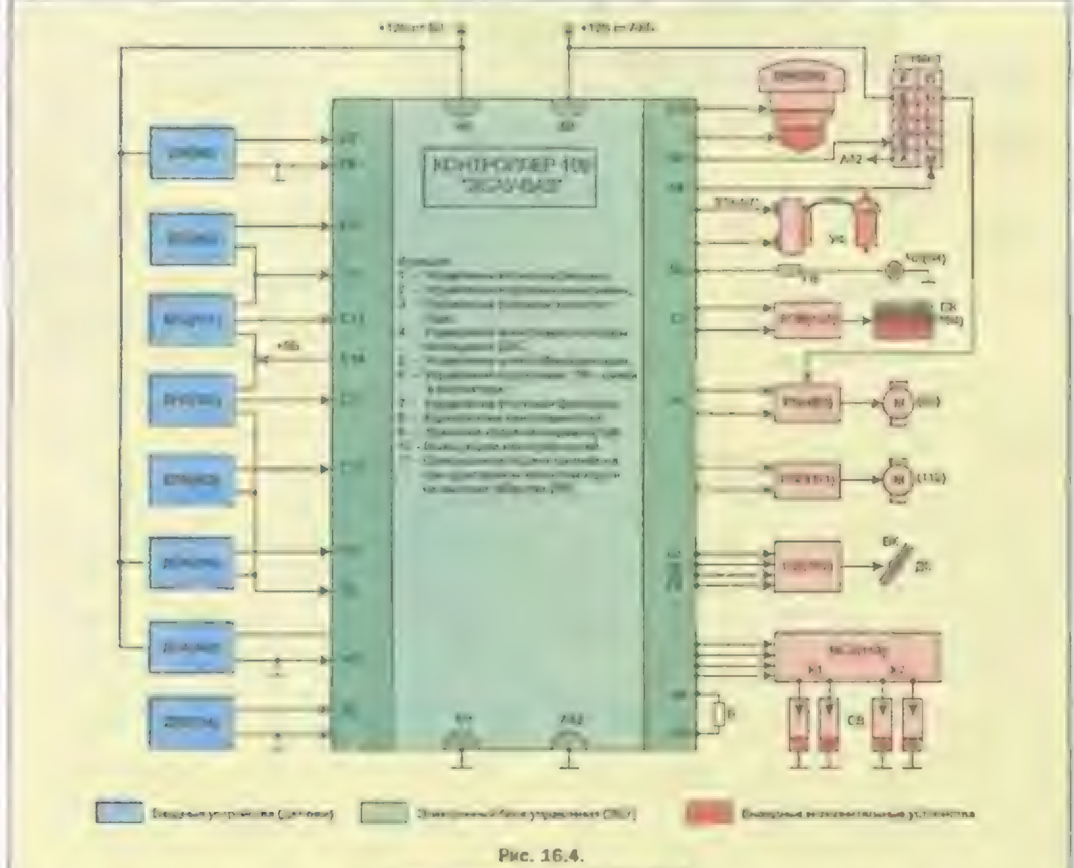


Рис. 16.4.

Коммутационная схема "ЭСАУ-ВАЗ":

A, B, C, D — обозначения групп контактов в штекерных разъемах контроллера; 93...114 — номера позиций в заводской принципиальной электросхеме; ДКК (98) — датчик концентрации кислорода; ДТД (99) — датчик температуры двигателя; ДПД (101) — датчик положения дроссельной заслонки; ДНД (105) — датчик нагрузки двигателя; ДТВ (103) — датчик температуры воздуха; ДОК (106) — датчик октан-корректора; ДСА (108) — датчик скорости автомобиля; ДНВ (114) — датчик частоты вращения и положения коленвала; ЦФВ (96) — центральная форсунка впрыска; ЭТК (97) — электромагнитный клапан угольного фильтра; УФ — угольный фильтр; ДР (100) — диагностический разъем; ЧА (94) — чек-лампа; РПВ (107) — реле включения подогрева впускного коллектора; ПК (104) — подогреватель впускного коллектора; РЕН (93) — реле электробензонасоса; М (95) — электродвигатель бензонасоса; РВО (111) — реле вентилятора охлаждения двигателя; М (112) — электродвигатель вентилятора охлаждения; ШД (102) — шаговый электродвигатель подсистемы стабилизации ХХ; БК — байпасный канал; ДС — дроссельная заслонка; МСЗ (113) — модуль (двухканальный выходной каскад) системы зажигания с каналами К1 и К2; СВ — свечи зажигания; R — ограничительное сопротивление в цепи форсунки.

бинации приборов, контакт А5 в разъеме ЗБУ и соединительный провод между указанными контактами.

● После устранения всех неисправностей в ЭСАУ, а также в том случае, если их не было, необходимо проверить компоненты подсистемы топливного питания. Это бензобак, бензонасос, бензомагистрали и фильтр тонкой очистки топлива (ФТОТ).

В бензобаке не должно возникать излишнего разрежения, иначе двигатель не будет запускаться. Причиной повышенного разрежения может быть засорение воздушного клапана в горловине или в пробке бензобака. Если при снятии пробки слышится характерное шипение всасываемого воздуха и после этого двигатель запускается, то причина очевидна.

Электродвигатель 95 бензонасоса должен включаться на 2—3 с каждый раз при включении зажигания, что хорошо прослушивается либо через открытую пробку бензобака, либо под днищем автомобиля. Если этого не происходит, то с помощью принципиальной электрической схемы надо проверить и восстановить подачу напряжения +12 В на бензонасос (полная принципиальная схема электрооборудования прилагается к инструкции по эксплуатации автомобиля).

Работа электродвигателя еще не означает, что бензонасос исправен, необходимо удостовериться в том, что он создает в системе топливоподачи требуемое рабочее давление 0,18...0,22 МПа (1,78...2,17 атм)*. Для проверки предусмотрен специальный контрольный штуцер, который находится в подкапотном пространстве и установлен между фильтром тонкой очистки топлива (ФТОТ) и центральной форсункой впрыска ЦФВ (закрыт заглушкой).

Сняв заглушку, к штуцеру подключают жидкостный монометр и с его помощью измеряют давление в системе во время работы бензонасоса. Для того чтобы бензонасос работал постоянно, необходимо на клемму "Н" диагностического разъема 100 подать напряжение +12 В от аккумуляторной батареи (клемму "Е" соединить с клеммой "Н").

Если при работе бензонасоса давление ниже 0,18 МПа, то причиной этому могут быть: утечки топлива в бензомагистралях, засорение ФТОТ, "зависание" возвратного клапана в регуляторе давления, неисправность шиберного нагнетателя в самом электробензонасосе.

Если давление выше 0,22 МПа, то засорен обратный бензопровод или неисправен возвратный клапан в регуляторе давления.

После выключения бензонасоса в системе должно устанавливаться постоянное остаточное давление в 0,05...0,08 МПа (сохраняется не менее 30-40 мин).

Атмосфера — внесистемная техническая (ат) или физическая (атм) единица давления. Паскаль (Па) — единица давления в системе СИ. 1 атм = 1,033 ат = 1,033 кг/см^2 = 760 мм рт.ст. = 1,013 бар = 0,1013 МПа. (1 МПа = 1000000 Па = 10 бар = 9,87 атм)

Если остаточное давление быстро падает, то в бензомагистралях системы имеют место утечки топлива.

● Проверить бензомагистрали можно следующим способом. Включить зажигание и, не включая стартера, подождать пока бензонасос отработает свое время (3...5 с). Затем с помощью струбцины пережать топливный резиновый шланг у входного штуцера центрального впрыскивающего узла (ЦВУ). Если остаточное давление перестанет убывать, то нарушена герметичность в топливных шлангах или топливных штуцерных соединениях ЦВУ; может оказаться неисправным регулятор давления. Аналогично, пережиманием шлангов под остаточным давлением проверяются прямая и обратная бензомагистрали.

Неисправность шиберного нагнетателя чаще всего проявляется не только по падению давления, но и по излишнему шуму при работе бензонасоса. Шум хорошо прослушивается, если открыть багажник автомобиля и снять с бензобака коврик шумозащиты. В некоторых компоновочных вариантах системы "ЭСАУ-ВАЗ" электробензонасос устанавливается не в бензобаке, а под днищем кузова. Тогда повышенная шумность работы бензонасоса хорошо слышна в гаражном помещении или на смотровой яме.

● Если все вышеописанные процедуры проделаны, неисправности устранены, но двигатель вновь не запускается, то остается одна причина: центральная форсунка впрыска не работает.

Для проверки центральной форсунки впрыска (ЦФВ) необходимо отсоединить от нее штекерный разъем и проверить подводимое к нему напряжение при включенном зажигании. На токовых контактах должен быть потенциал около 5 В. Отсутствие потенциала может быть следствием обрыва проводов чаще всего на контактах в фишке разъема. Сопротивление между токовыми контактами (при выключенном зажигании) не должно быть более 1 Ом. Сопротивление обмотки соленоида исправной форсунки находится в пределах 1,5...1,55 Ом.

● Окончательную проверку центральной форсунки можно выполнить на работающем прогретом двигателе. Надо снять крышку воздушного фильтра и понаблюдать за распылением бензина. На холостых оборотах должна просматриваться конусная струя, попадающая в щель приоткрытой дроссельной заслонки. Затем надо сымитировать принудительный холостой ход. Для этого необходимо повысить обороты двигателя до 3000...3100 об/мин и резко бросить педаль акселератора. Впрыск должен на некоторое время прекратиться. Сразу после выключения двигателя бензин из форсунки не должен капать.

В заключение следует отметить, что все составные компоненты системы впрыска в "ЭСАУ-ВАЗ" разборке и ремонту не подлежат и в случае выхода из строя должны заменяться на работоспособные.

СИСТЕМА ВПРЫСКА БЕНЗИНА "L-Jetronic"

Ранее* были подробно описаны системы одноточечного импульсного впрыска бензина, в которых электронному управлению подвергается одна центральная электроуправляемая форсунка, общая для всех цилиндров автомобильного двигателя. Такие системы принято относить к группе "Моно". В данной главе рассматривается система впрыска бензина "L-Jetronic", которая является прототипом для всех систем впрыска из групп "L" и "M".

17.1. Предварительные замечания

В настоящее время на подавляющем большинстве двигателей современных легковых автомобилей широкое распространение получили системы впрыска топлива, в которых бензин подается во всасывающий коллектор не через одну центральную форсунку впрыска, а через несколько форсунок, число которых равно числу цилиндров двигателя. При этом впрыск осуществляется на горячие впускные клапаны прерывисто одной или двумя порциями за рабочий цикл двигателя и с точным соблюдением геометрии распыла (рис. 17.1), так, чтобы бензин попадал только на головки клапанов.

Такие системы обозначаются индексом "L" (от немецкого слова "Lade" — точная порция, заряд), что указывает на отмеренный по количеству топлива прерывистый и распределенный по цилиндрам впрыск бензина. Для реализации такого способа впрыска необходимо применение электрически управляемых форсунок, продолжительность открытого состояния которых определяется длительностью электроимпульса управления. Это позволяет точно и быстро (безынерционно) корректировать качество топливовоздушной смеси (ТВ-смеси), подаваемой в цилиндры при различных режимах работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС).



Рис. 17.1.
Установка форсунки в предклапанную зону впускного коллектора:
1 — впускной коллектор, 2 — форсунка впрыска бензина, 3 — прокладка; 4 — впускной клапан, 5 — предклапанная зона в головке блока цилиндров ДВС; 6 — камера сгорания.

*.См. главы 14, 15, 16.

Системы впрыска бензина группы "L" широко выпускаются разными зарубежными фирмами: BOSCH и VAG — Германия; CITROEN — Франция; LUCAS — Англия; FIAT — Италия; SIEMENS — Голландия; SAAB — Швеция; GENERAL-MOTORS и FORD — США.

В Японии системы впрыска выпускаются большинством автомобилестроительных предприятий (TOYOTA, HONDA, SUBARU, MITSUBISHI, NISSAN, MAZDA).

В России изготовление компонентов для систем впрыска группы "L" освоено рядом отечественных заводов автомобильного приборостроения.

Общее число разработанных и освоенных производством разновидностей и модификаций систем впрыска бензина, входящих в группу "L", более 60-ти наименований. Но их отличия друг от друга незначительны, поэтому рассматривать каждую систему в отдельности нет необходимости. Наиболее типичным представителем систем этой группы является система "L-Jetronic" фирмы BOSCH (ФРГ).

17.2. Общая характеристика системы "L-Jetronic"

• На рис. 17.2 показана упрощенная функциональная схема системы "L-Jetronic". Если сравнить эту схему с функциональной схемой системы "Mono-Jetronic" (см. главу 14), то можно заметить, что принцип формирования времени впрыска бензина и функциональные связи между компонентами в этих системах одинаковые. Поэтому в них используется целый ряд совершенно идентичных составных частей. Это: ЭБУ — электронный блок 11 управления форсунками 13 впрыска; МДР — механический датчик-распределитель с вакуумным регулятором ДНД 5 и с бесконтактным датчиком ДХ частоты вращения на эффекте Холла ДОД 4. ДХ является задатчиком момента зажигания и момента впрыска т.е. датчиком момента срабатывания ДМС; ДПД 1 — потенциометрический датчик положения дроссельной заслонки (в системе "L-Jetronic" с микровыключателя-

ми в краевых положениях); ДТВ 3 — датчик температуры всасываемого воздуха; ДТД 7 — датчик температуры двигателя; ДОД 4 — датчик частоты вращения (оборотов) двигателя (датчик Холла в механическом датчике-распределителе); ДКК 8 — датчик концентрации кислорода в выхлопных отработавших газах (ОГ); клапан 16 дополнительной подачи воздуха.

• В отличие от "Mono-Jetronic" система "L-Jetronic" работает на каждый цилиндр в отдельности, но дополнительно оснащена общей пусковой форсункой 18 и совершенно иным по конструкции (потенциометрическим) расходомером воздуха 2, 3 с воздушной демферной камерой, с датчиком температуры всасываемого воздуха, с выключателем бензонасоса и с обводным воздушным (байпасным) каналом. Иногда в систему "L-Jetronic" устанавливается датчик атмосферного давления (ДАД 6), выполняющий функцию корректора состава ТВ-смеси по высоте над уровнем моря.

Рис. 17.2.
Упрощенная функциональная схема системы "L-Jetronic": 1-10 — входные устройства управления: ДПД-датчик положения дросселя; ПРВ-электропотенциометр расходомера воздуха; ДТВ — датчик температуры воздуха; ДОД — датчик частоты вращения (оборотов) ДВС; ДНД — датчик нагрузки двигателя (вакуумный регулятор); ДАД — датчик атмосферного давления; ДТД — датчик температуры ДВС; ДКК — датчик концентрации кислорода; ЗВЗ — замок выключателя зажигания; ТРВ — термореле времени; 11 — ЭБУ впрыска с микропроцессором МКП, запоминающим устройством ЗУ, регистратором неисправностей РН; 12 — реле РП управления пуском ДВС; 13 — рабочие (клапанные) электромагнитные форсунки; 14 — диагностический разъем; 15 — чек-лампа; 16 — клапан дополнительной подачи воздуха; 17 — электробензонасос; 18 — пусковая форсунка.

Система "L-Jetronic", функциональная схема которой со всеми компонентами приведена на рис. 17.3, имеет много общего и с широко известной механической системой "K-Jetronic" (в системе "K-Jetronic" реализуется распределенный по цилиндрам непрерывный впрыск бензина с помощью неуправляемых закрытых гидромеханических форсунок). Так, в некоторых модификациях систем "L-Jetronic" (см. рис. 17.3) применяется расширительный ресивер 12 на впускном коллекторе, который, как и в системе "K-Jetronic", работает совместно с пусковой форсункой 11 при запуске холодного двигателя. В таких конструктивных вариантах для "L-Jetronic" рабочие (клапанные) форсунки 10 могут запитываться так же, как и в системе "K-Jetronic", т.е. с применением топливных соединительных шлангов и устанавливаться непосредственно в предклапанных зонах впускного коллектора. В обеих системах одинаково реализуются пуск и прогрев холодного двигателя (с применением термореле времени 17 для пусковой форсунки), а также регулировка холостых оборотов непрогретого ДВС (с помощью клапана дополнительной подачи воздуха 19).

Принципиальным отличием всех систем группы "L" от систем группы "K" является то, что в них используются не закрытые гидромеханические, а управляемые электроимпульсным сигналом от ЭБУ 1 электромагнитные форсунки впрыска бензина. В более поздних системах группы "L" применяется бензиновая рампа (топливный коллектор), на которую монтируются все рабочие форсунки (рис. 17.4).

Механический дозатор-распределитель в системе "L-Jetronic" отсутствует, что позволяет почти в два раза понизить рабочее давление бензина в замкнутом топливном кольце (4, 3, 2, 6, 4), благодаря чему повышается надежность подсистемы топливоподачи, и отказаться от механического расходомера воздуха.

Электромагнитные форсунки в системах группы "L" могут управляться (открываться на заданное время) одновременно все сразу (рис. 17.5, а), группами по несколько форсунок (рис. 17.5, б) или каждая форсунка в отдельности в заданной последовательности (рис. 17.5, в). Это легко реализуется с помощью электронного блока управления (ЭБУ) впрыском.

ЭБУ, помимо оснащения большим числом входных датчиков для слежения за текущим состоянием рабочих параметров двигателя, включает в свой состав микропроцессор (МКП) и запоминающее устройство (ЗУ), в последнем записана программа действия системы впрыска на различных режимах работы ДВС (см. рис. 17.2).

Совокупность перечисленных достоинств делает систему "L-Jetronic" более совершенной по точности дозирования впрыскиваемого бензина и более быстродействующей в исполнении функций управления. За счет этого автомобильный двигатель становится более экономичным и менее токсичным. Средняя эффективная мощность и стабильность крутящего момента двигателя повышаются.

Наличие в системе электронного блока управления заметно расширяет ее функциональные возможности. Так, посредством системы впрыска "L-Jetronic" надежно реализуются дополнительные функции управления двигателем, такие как: пуск и прогрев холодного двигателя; управление работой прогретого двигателя на холостом ходу; электронное управление дроссельной заслонкой (подсистема электронной акселерации EGas); управление смесеобразованием по концентрации кислорода в выхлопных отработавших газах; управление процессом утилизации паров бензина из герметичного бензобака; электронное управление рециркуляцией отработавших газов (подсистема EGR), электронное управление работой двигателя на принудительном холостом ходу и при недопустимом увеличении частоты вращения. Становится возможным внедрение в систему топливного питания принципов электронного резервирования и функций бортовой самодиагностики.

17.3. Работа системы "L-Jetronic" на различных режимах ДВС

При запуске автомобильного двигателя внутреннего сгорания (ДВС) любая система впрыска топлива (СВТ) должна обеспечивать обогащение топливовоздушной смеси (ТВ-смеси). В системе "L-Jetronic" это реализуется пусковой форсункой (см. рис. 17.3), которая включается в работу при температуре T_g двига-



Рис. 17.3.
Схема системы "L-Jetronic" со всеми функциональными компонентами:
1 — ЭБУ (контроллер); 2 — фильтр тонкой очистки топлива (ФТОТ); 3 — электробензонасос; 4 — бензобак; 5 — впускной клапан; 6 — регулятор давления с вакуумным корректором; 7 — потенциометрический датчик положения дроссельной заслонки (ДПД); 8 — потенциометрический расходомер (ПРВ) воздуха с датчиком температуры (ДТВ); 9 — датчик температуры воздуха (ДТВ); 10 — рабочая электроуправляемая форсунка; 11 — пусковая форсунка; 12 — расширительный ресивер впускного коллектора; 13 — дроссельная заслонка; 14 — датчик концентрации кислорода (ДКК); 15 — датчик температуры двигателя (ДТД); 16 — воздушный фильтр; 17 — термореле времени; 18 — датчик распределитель (МДР) с бесконтактным датчиком Холла (ДМС); 19 — клапан дополнительной подачи воздуха; 20 — выпускной коллектор; 21 — блок цилиндров ДВС; 22 — вакуумный регулятор на датчике-распределителе 18; 23 — аккумуляторная батарея (АКБ); 24 — генераторная установка; 25 — замок зажигания; 26 — реле управления бензонасосом 3, пусковой форсункой 11 и термореле времени 17.

Рис. 17.4.
Разновидности топливных коллекторов для систем впрыска бензина группы "L":
а — для четырехцилиндрового ДВС; б — для 8-ми цилиндрового ДВС; в — для 6-ти цилиндрового ДВС; 1 — сливной патрубок; 2 — патрубок для вакуумного шланга от задроссельной зоны; 3 — регулятор давления бензина в топливном коллекторе; 4 — топливный коллектор (бензиновая рампа); 5 — впускной патрубок; 6 — форсунка с электрическим управлением.

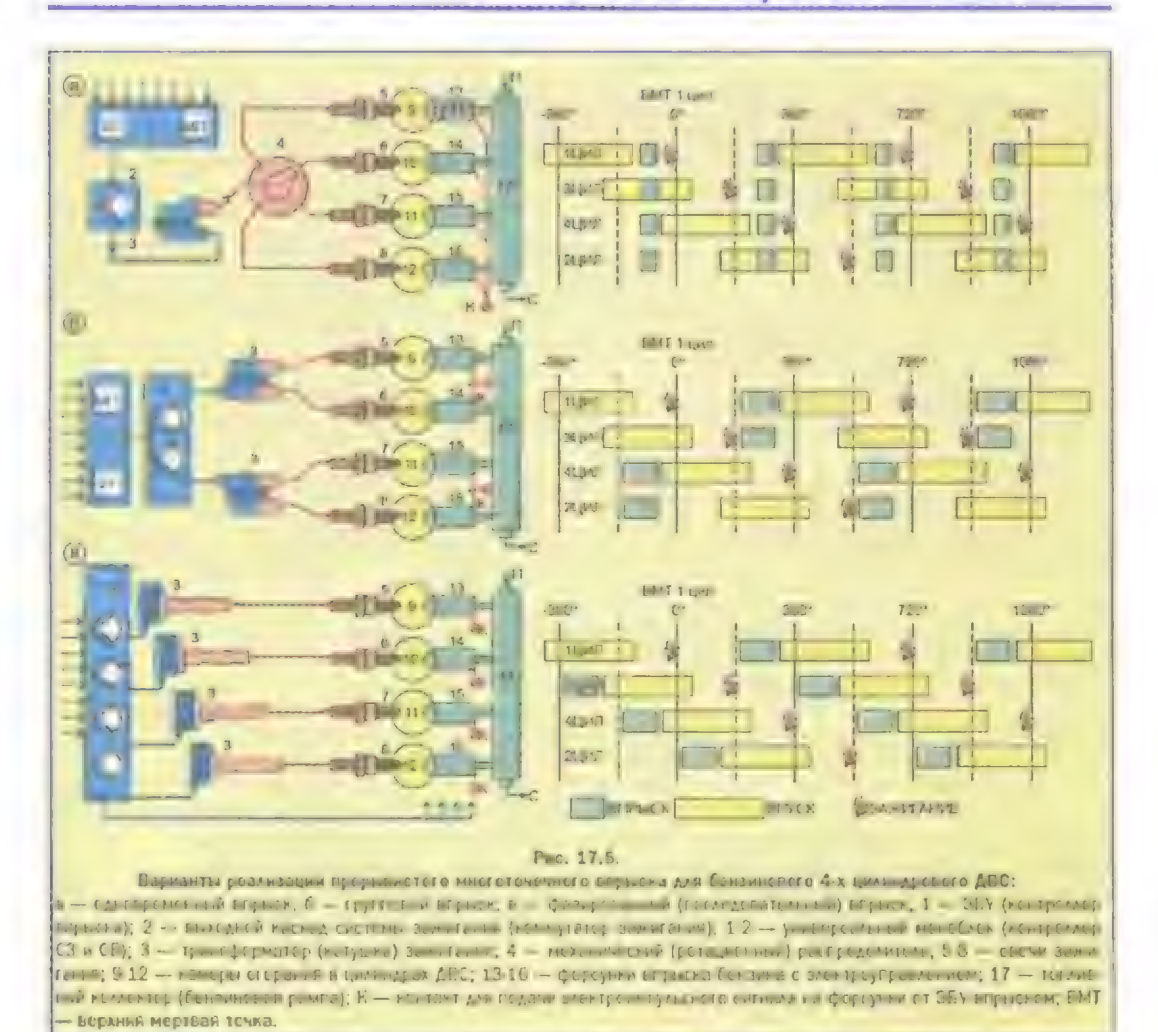


Рис. 17.5.

Варианты реализации прерывистого многоточечного впрыска для бензинового 4-х цилиндрового ДВС: а — одновременный впрыск; б — групповой впрыск; в — фазированный (последовательный) впрыск; 1 — ЭБУ (контроллер впрыска); 2 — выходной каскад системы зажигания (коммутатор зажигания); 1-2 — универсальный моноблок (контроллер СЗ и СВ); 3 — трансформатор (катушка) зажигания; 4 — механический (ротационный) распределитель; 5-8 — свечи зажигания; 9-12 — камеры сгорания в цилиндрах ДВС; 13-16 — форсунки впрыска бензина с электроуправлением; 17 — топливный коллектор (бензиновая рампа); К — контакт для подачи электроимпульсного сигнала на форсунки от ЭБУ впрыском; ВМТ — верхняя мертвая точка.

теля меньше 20°C (T_g < 20°C). Управляется пусковая форсунка от замка зажигания через контакты термореле времени. От замка зажигания одновременно с пусковой форсункой срабатывает электробензонасос и стартер. Но продолжительность впрыска бензина пусковой форсункой не связана с работой стартера, а зависит от степени достартового нагрева ДВС и может лежать в пределах от 0,5 до 10 с (для T_g от +20 до –30°C). Если T_g > 20°C, то пусковая форсунка в работу не включается (контакты термореле времени разомкнуты). Если T_g < –30°C, то максимальная продолжительность впрыска (10 с) ограничивается срабатыванием термореле времени от прогрева внутренней биметаллической пластины под действием электрического тока. Если двигатель не запускается в течение первых 8...10 с, то электробензонасос отключается от бортсети автомобиля при помощи специального реле управления. После запуска ДВС реле управления переходит в режим удержания от управляющего сигнала системы зажигания (СЗ). При этом пусковая форсунка выключается послестартовым реле и в работу вступают основные (клапанные) форсунки. По мере прогрева ДВС сигнал от датчика ДТД температуры охлаждающей жидкости через ЭБУ впрыска постепенно обедняет ТВ-смесь, пока она не станет нормальной (сокращается продолжительность впрыска бензина рабочими (клапанными) форсунками. На прогретом двигателе состав ТВ-смеси корректируется по температуре воздуха на впуске (по сигналу датчика ДТВ температуры, который установлен на пути воздушного потока в расходомере).

Значительную часть времени автомобильный двигатель работает в режиме неполных (частичных) нагрузок, когда могут быть достигнуты максимальная

Таблица 17.1

№ п/п	Проявление неисправностей	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	ДВС не запускается ($t_д$ [illegible])	•	•	•	•				•		•					•	•	•	•					•	
2	ДВС не запускается ($t_д$ [illegible])	•	•	•	•						•					•	•	•	•					•	
3	Затрудненный запуск ДВС ($t_д$ [illegible])	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•			•	•	
4	Затрудненный запуск ДВС ($t_д$ [illegible])		•	•	•					•	•	•			•	•	•	•	•	•	•		•	•	
5	ДВС запускается и глохнет	•		•	•	•		•			•			•		•	•	•	•				•	•	
6	Неустойчивая работа ДВС на ХХ			•	•			•	•	•	•	•		•	•	•	•	•		•				•	
7	[illegible] ДВС с перебоями на ХХ ($t_д$ [illegible])					•	•				•	•				•	•	•		•		•			
8	ДВС [illegible] при разгоне		•	•	•	•	•				•	•				•	•	•		•	•	•		•	•
9	ДВС [illegible] при $t_д$ [illegible]		•	•	•	•	•			•	•	•				•	•	•		•	•	•	•	•	
10	ДВС трясется на принудительном ХХ										•	•				•	•	•	•		•				
11	[illegible]	•	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•			•	•	•		•	•	•	•	•	
12	Частота вращения ДВС на ХХ больше или меньше нормы							•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	
13	Повышенный расход бензина						•	•	•	•	•	•	•			•	•	•		•	•				•
14	Повышенное содержание CO и CH на ХХ								•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•	•				•
15	Пониженное содержание CO и CH на ХХ		•	•	•						•	•		•		•	•	•		•			•	•	
16	ДВС не развивает полной мощности	•		•			•			•	•	•	•	•		•	•	•		•	•		•	•	•

экономия топлива (за счет обеднения ТВ-смеси) или минимальный процент токсичных веществ в выхлопных отработавших газах (за счет получения ТВ-смеси с коэффициентом $\alpha = 1$). ЭБУ системы "L-Jetronic" обеспечивает необходимый компромисс на частичных нагрузках ДВС между двумя этими противоречивыми параметрами. Важно отметить, что в системе "L-Jetronic" сигналы для ЭБУ о режимах "холостой ход", "частичные нагрузки", "форсаж", "полная нагрузка" — формируются так же, как и в системе "Mono-Jetronic", т.е. с помощью датчиков краевых положений и потенциометра дроссельной заслонки.

Программа, заложенная в память ЭБУ, обеспечивает обогащение ТВ-смеси при пуске и прогреве холодного двигателя, а также при его полной нагрузке и разгоне. Предусмотрен режим принудительного холостого хода (торможения двигателем) и режим ограничения максимальных оборотов (6500 м).

17.4. Неисправности системы "L-Jetronic" и их поиск

Неисправности, наиболее часто встречающиеся в системе впрыска бензина "L-Jetronic", сведены в табл. 17.1

Перечень проверяемых устройств при поиске неисправности:

1. Электробензонасос
2. Фильтр тонкой очистки топлива
3. Давление в бензиновой рампе
4. Давление нагнетания бензонасоса
5. Производительность бензонасоса
6. Качество бензина
7. Клапан дополнительной подачи воздуха
8. Термореле времени
9. Пусковая форсунка
10. Рабочие (клапанные) форсунки
11. Датчик температуры ДВС
12. Краевой выключатель дроссельной заслонки
13. Узел дроссельной заслонки
14. Пневмопривод дроссельной заслонки
15. Измеритель расхода воздуха
16. Электронный блок управления (ЭБУ)
17. Электропровода и их соединения
18. Реле включения топливного насоса
19. Воздушный фильтр
20. Система охлаждения двигателя
21. Соединения во впускном коллекторе двигателя (проверка на герметичность)
22. Отсутствие подсоса воздуха в двигатель
23. Впускной тракт двигателя
24. Отсутствие подачи ТВ-смеси при частичных нагрузках двигателя.

Порядок пользования табл. 17.1 следующий:

Например, не запускается прогретый двигатель (неисправность №2). В таблице этой неисправности соответствуют десять позиций по горизонтали: 1, 2, 3, 4, 10, 15, 16, 17, 18, 23. По номерам позиций и по перечню устройств определяются те из них (устройства), неисправность которых может быть причиной незапуска горячего ДВС.

В заключение на рис. 17.6 представлена схема электических соединений компонентов в системе впрыска "L" и "LE-Jetronic". На рисунке обозначено: 1 — штекерный разъем ЭБУ (контроллера впрыска); 2 — одновыводная катушка зажигания; 3 — датчик краевого положения дроссельной заслонки; 4 — пусковая форсунка; 5 — послестартовое реле; 6 — тер-

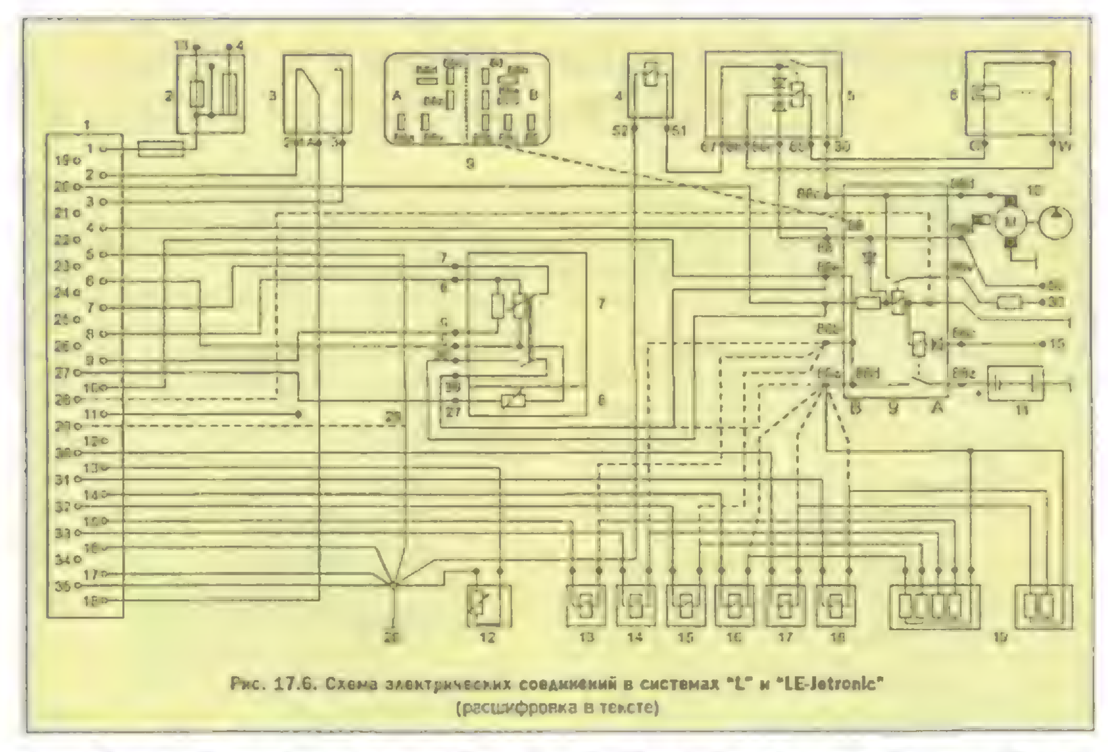


Рис. 17.6. Схема электрических соединений в системах "L" и "LE-Jetronic" (расшифровка в тексте)

мореле времени; 7 — расходомер воздуха; 8 — датчик температуры воздуха на впуске; 9 — реле топливного насоса и включения питания; 10 — топливный элктробензонасос; 11 — аккумуляторная батарея (АКБ); 12 — датчик температуры двигателя; 13...18 — рабочие клапанные форсунки; 19 — дополнительные резисторы для форсунок в системе "L-Jetronic"; штриховые линии — электрические соединения в системе "LE-Jetronic"; 20 — общая точка соединения с "массой".

МОДИФИКАЦИИ СИСТЕМ ВПРЫСКА ТОПЛИВА ГРУПП "L" и "M". СИСТЕМЫ ВПРЫСКА ГРУППЫ "D"

Все известные системы впрыска бензина групп "L" и "M" имеют общий прототип — систему "L-Jetronic". Она является базовым вариантом для систем, в которых реализуется распределенный по цилиндрам импульсный впрыск бензина на впускные клапаны всасывающего коллектора. Различные модификации систем впрыска в группах "L" и "M" сводятся к усовершенствованию составных компонентов прототипа, но принцип формирования впрыска остается без изменений (Lade — отмеренными порциями). Наряду с этим разработаны системы впрыска бензина под высоким давлением непосредственно в цилиндры ДВС — системы группы "D". Рассмотрению различных модификаций систем впрыска групп "L", "M" и "D" посвящена данная глава.

18.1. Упрощение подсистемы топливоподачи

Наряду с описанными ранее вариантами конструктивного исполнения подсистемы топливоподачи с длинным топливным кольцом (см. главу 17), в системах впрыска группы "L" применяется и короткая бензомагистраль. На рис. 18.1 показаны обе модификации.

Исключением длинной медной трубки из обратной бензомагистрали (ОБМ) достигается снижение себестоимости системы впрыска, а также упрощается ее конструкция. Но основное преимущество системы впрыска с короткой бензомагистралью состоит в том, что бензин не попадает в сильно разогретый топливный коллектор и возвращается в бензобак в холодном состоянии. Образование паров в бензобаке при этом сокращается. Главные недостатки такого упрощения — появляется возможность образования бензиновых паровых пробок в топливном коллекторе (в бензиновой рампе) и в рабочих клапанных форсунках, а также исключается возможность охлаждения компонентов системы впрыска быстроподвижным потоком бензина.

Подсистема топливоподачи с коротким бензиновым кольцом применяется на недорогих легковых автомобилях и микроавтобусах.

Рис. 18.1.
Подсистема топливоподачи:
а — с длинным топливным кольцом; б — с короткой бензомагистралью; 1 — бензобак; 2 — электробензонасос; 3 — регулятор давления; 4 — топливный коллектор (бензиновая рампа); 5 — ФТОТ (фильтр); 6 — реле управления бензонасосом; ОБМ — обратная бензомагистраль; ВК — впускной коллектор.

18.2. Усовершенствование электрических и электронных схем управления

- Системы группы "L" с усовершенствованной электроникой получили наименование "LE-Jetronic" (E-Elektronic).

Механические и гидравлические устройства остались без изменений. Между системами "L" и "LE" имеются следующие различия:

1. Число контактов в разъеме ЭБУ уменьшено с 35 до 25.
2. Изменена схема управления пуском холодного двигателя (реле бензонасоса и реле пуска заменены электронной схемой управления).
3. Рабочие клапанные форсунки управляются магнитным соленоидом, обмотка которого выполнена не медным, а латунным проводом. Омическое сопротивление обмотки увеличилось с 2,4 до 12 Ом, что позволило исключить из схемы управления форсунками дополнительные резисторы.

4. Из потенциометрического датчика в расходомере воздуха исключена контактная пара выключения электробензонасоса при неработающем ДВС. Число контактов в разъеме расходомера уменьшилось с 7 до 5.

Устройство расходомера воздуха для систем группы "L" показано на рис. 18.2.

- Система "LE2-Jetronic" отличается от системы "LE" отсутствием пусковой форсунки, за счет этого запуск ДВС стал более надежным и экономичным, так как обогащение ТВ-смеси стало управляться через рабочие форсунки. Упростилась конструкция впускного коллектора.
- Система "LE3-Jetronic" в отличие от системы "LE" имеет в своем составе микро-ЭВМ, которая работает в цифровых кодах и конструктивно помещена в электронный блок управления (ЭБУ) впрыском. Сам ЭБУ установлен на расходомере воздуха. Функции ЭБУ значительно расширены. Применено программное управление по трехмерной характеристике впрыска (ТХВ). Введена коррекция продолжительности впрыска бензина с учетом колебаний напряжения в бортсети автомобиля, а также защита ЭБУ от ложных сигналов. На впускном коллекторе системы "LE3" установлены пусковая форсунка и клапан дополнительной подачи воздуха.
- Система "LE4-Jetronic" является дальнейшим усовершенствованием системы "LE3", которое сводится к исключению пусковой форсунки, термореле времени и клапана дополнительной подачи воздуха.

Рис. 18.2.
Расходомер воздуха с демпферной камерой и датчиком температуры:
1 — винт регулировки CO; 2 — обводной канал; 3 — штекерный разъем расходомера; 4 — воздушная заслонка расходомера (ротаметр); 5 — потенциометрический датчик положения ротаметра (датчик расхода воздуха); 6 — демпферная камера; 7 — пластина демпфера; 8 — датчик температуры воздуха на впуске; 9 — контактная пара для выключения электробензонасоса при отсутствии вращения коленвала ДВС.

18.3. Модернизация воздухометрической подсистемы

Во всех системах впрыска бензина, начиная от механической ("K-Jetronic") и кончая электронноуправляемыми ("LE-Jetronic"), в воздухометрической подсистеме используются различные расходомеры воздуха.

- Принцип действия любого расходомера основан на парусном воздействии воздушного потока на измерительную заслонку расходомера, которую иногда называют "ротаметром". При определенной конфигурации воздушного диффузора расходомера степень углового перемещения ротаметра линейно зависит от объема воздушного потока, прошедшего через диффузор. Это перемещение и является мерой количества воздуха, впущенного в цилиндры ДВС.

В механической системе "K-Jetronic" перемещение измерительной заслонки расходомера посредством рычагов передается на золотниковый поршень в дозаторе-распределителе, чем обеспечивается образование топливовоздушной смеси (ТВ-смеси) в нужной пропорции. В системах с электронным управлением впрыском ("KE", "L", "LE") перемещение ротаметра с помощью ползункового потенциометра преобразуется в аналоговый электрический сигнал, который поступает в ЭБУ.

Расходомеры воздуха являются далеко не совершенными измерителями для систем впрыска. Дело в том, что при образовании ТВ-смеси в расчет берется не объем, а масса воздуха. Как следствие, система впрыска бензина, в которой используется расходомер, дооборудуется рядом дополнительных датчиков — атмосферного давления, влажности и температуры воздуха на впуске. Это усложняет систему, погрешность информационных преобразований возрастает.

- Система "LH-Jetronic" и ее модификации существенно отличаются от всех систем с расходомером воздуха. Здесь применен совершенно иной принцип измерения количества воздуха на впуске. Индекс "H" (от нем. Hauch — дуновение ветра) указывает на это обстоятельство. В системе используется термоанемометрический способ измерения массы воздуха (от греч. anemos — ветер), при котором дополни-

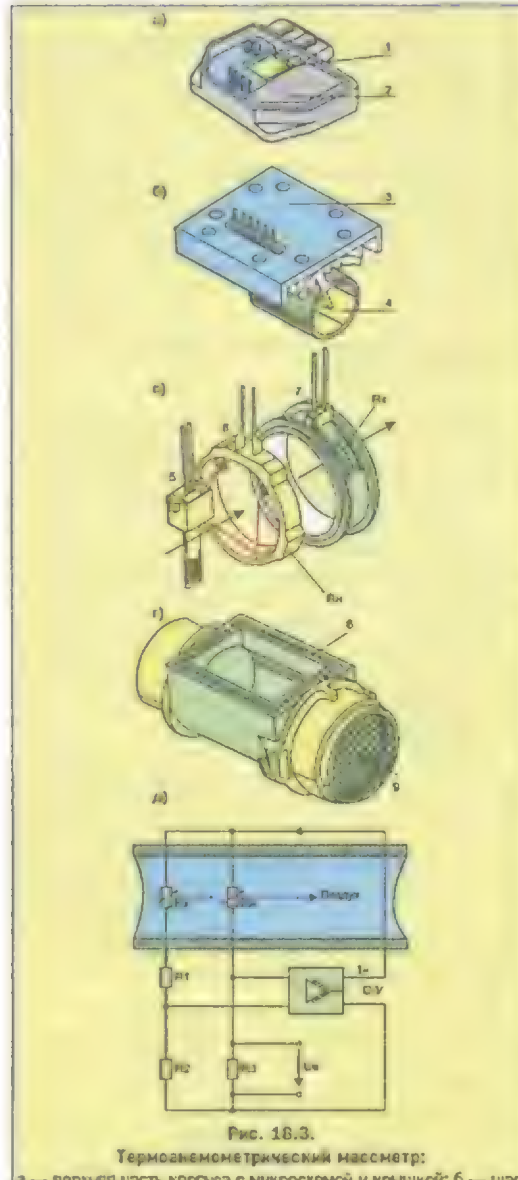


Рис. 18.3.
Термоанемометрический массметр:
а — верхняя часть корпуса с микросхемой и крышкой; б — шасси-радиатор с измерительным элементом; в — составные части измерительного элемента; г — корпус с защитными сетками на торцах; д — электрическая измерительная схема; 1 — измерительная микросхема; 2 — крышка; 3 — радиатор; 4 — измерительный элемент; 5 — датчик температуры; 6 — держатель платиновой нити; 7 — прецизионное сравнительное сопротивление (термокомпенсатор Rк); 8 — корпус; 9 — защитная сетка; Rн — платиновая нить; R1 R2 R3 — резисторы измерительной схемы; Us — выходной сигнал массметра (напряжение с резистора R3); ОУ — операционный усилитель; Iн — ток подогрева нити Rн.

тельные измерения (температуры, влажности, давления) не требуются. Термоанемометрический измеритель количества воздуха в отличие от расходомеров называется массметром.

● Принцип действия массметра основан на контроле степени охлаждения нагретого тела, которое помещено в поток всасываемого воздуха. Нагреваемое тело выполнено в виде тонкой проволочки из платины, по которой пропускается электрический ток. Охлаждение воздухом компенсируется увеличением тока подогрева, при этом степень изменения тока, которую легко измерить, несет информацию о массовом количестве воздуха, пропущенного через массметр.

На рис. 18.3 показаны устройство и электрическая схема термометрического массметра. Как видно из рисунка, вся масса воздуха, всасываемого в цилиндры ДВС, пропускается через внутреннюю полость массметра. На пути воздушного потока установлены два "плеча" электрического измерительного (балансного) моста, одно из которых — термокомпенсатор $R_к$, а другое — платиновая нить $R_н$. В одну диагональ моста включен "вход", а в другую "выход" операционного усилителя ОУ, собранного на микросхеме. Мост с помощью резисторов и операционного усилителя сбалансирован под данную температуру всасываемого воздуха таким образом, что ток $I_н$ подогрева платиновой нити обеспечивает постоянную разность температур между компенсатором $R_к$ и нитью $R_н$ ($\Delta T = 150°C = const$). При этом падение напряжения $U_в$ на резисторе R_3 является информационным сигналом о массе пропущенного воздуха в единицу времени ($Q_в$ = [кг/ч]). Как только скорость воздушного потока или его плотность изменятся (т.е. изменится интенсивность теплообмена между нитью и потоком воздуха), электрическое сопротивление платиновой нити также соответственно изменится (увеличится при падении интенсивности или уменьшится при ее росте). Произойдет кратковременная разбалансировка электрического измерительного моста, которую тут же восстановит операционный усилитель ОУ (произойдет корректировка тока $I_н$ нагрева под новые условия всасывания воздуха). Изменившемуся значению тока подогрева будет отвечать новое значение напряжения $U_в$ на резисторе R_3. Так как интенсивность теплообмена на поверхности платиновой нити с потоком воздуха несет информацию о массе воздуха, прошедшего в единицу времени через тепловую зону нити, то сигнал $U_в$(В) с массметра есть искомая информация для ЭБУ [$U_в = f(Q_B)$].

● Электронный блок управления (ЭБУ) системы "LH-Jetronic" по информационному обеспечению аналогичен блоку системы "LE4" и конструктивно является самостоятельным узлом, который помещен в герметичный литой кожух. Как и большинство систем впрыска бензина группы "L", система "LH" оборудована регулятором давления (РД) топлива в бензиновой рампе, а сам регулятор — вакуумной камерой

для поддержания давления топлива постоянным при одинаковых нагрузках ДВС (вакуумная камера РД соединена воздушным шлангом с задроссельной зоной впускного коллектора).

Помимо термоанемометрических массметров разработаны и применяются ультразвуковые и вихревые измерители массы воздуха. Всем массметрам присущи общие недостатки — высокая стоимость изделия при недостаточно высокой наработке на отказ.

● Система "D-Jetronic" относится к системам впрыска группы "L". Специфика этой системы состоит в том, что в ней отсутствует какой-либо измеритель количества всасываемого воздуха. Это делает систему недорогой. Требуемую информацию получают опосредованно, путем обработки в ЭБУ сигналов от ряда входных датчиков: температуры, частоты вращения и нагрузки ДВС, а также положения дроссельной заслонки. Система имеет микро-ЭВМ в ЭБУ и так же, как и система "LE3", работает по программе, заложенной в ТХВ.

18.4. Системы впрыска бензина группы "M"

В последние годы электронную систему управления впрыском топлива на бензиновых двигателях объединяют с электронной автоматикой электроискрового зажигания. Объединенные в единое целое две электронные системы управления принято называть комплексной электронной системой автоматического управления двигателем (ЭСАУ-Д). Объединение реализуется на уровне электронных схем и их входной периферии. К выходным (исполнительным) устройствам систем впрыска и зажигания интеграция прямого отношения не имеет. В лучшем случае в единый электронный блок (в контроллер) комплексной ЭСАУ-Д вносятся электронные схемы выходных коммутаторов зажигания, но катушки (или трансформаторы) зажигания и свечи зажигания в конструкцию контроллера ЭСАУ-Д не включаются. То же самое относится и к выходной периферии для системы впрыска бензина, которая по составу компонентов аналогична системе впрыска группы "L".

● На базе объединения различных систем впрыска и зажигания в единую ЭСАУ-Д фирмой BOSCH разработан ряд комплексных систем управления под общим названием "Motronic": "Mono-Motronic"; "Motronic 1.1-1.3"; "Motronic 1.7"; "Motronic 3.1-3.2"; "Motronic 5.4"; "ME-Motronic" и др. Эти системы составляют группу "M". За исключением системы "Mono-Motronic" (подробно описана в главе 15), все остальные системы группы "M" созданы с использованием систем впрыска бензина группы "L": в "M 1.1" и "M 1.2" интегрирована система "L-Jetronic"; в "M 1.3" и "M 1.7" — "LE-Jetronic"; в "M 3.1" и "M 3.2" — "LH-Jetronic"; в "M 5.4" — "LH4"; в "ME-M" — "LE2-Jetronic".

Системы зажигания (СЗ) в ЭСАУ "Motronic" самые разнообразные, начиная от СЗ с механическим датчиком-распределителем и кончая СЗ с индивидуальными катушками зажигания для каждого цилиндра ДВС в отдельности.

● На рис. 18.4 в качестве примера реализации ЭСАУ "Motronic" представлена функциональная схе-

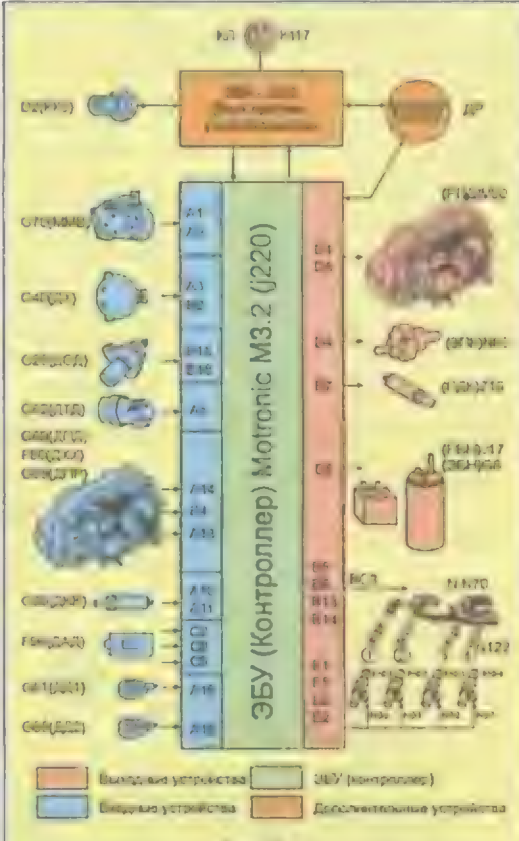


Рис. 18.4.

Функциональная схема системы "Motronic M3.2":
D2 (ККЗ) — кодовый ключ зажигания; G70 (ММВ) — массметр воздуха; G40 (ДХ) — датчик Холла; G28 (ДОД) — датчик частоты вращения (оборотов) ДВС; G62 (ДТД) — датчик температуры охлаждающей жидкости в ДВС; G69 (ДПД) — датчик положения дроссельной заслонки; F60 (ДХХ) — датчик холостого хода (контактная пара); G88 (ДПР) — датчик положения регулятора дроссельной заслонки; G39 (ДКК) — датчик концентрации кислорода; F96 (ДАД) — датчик атмосферного давления; G61 и G66 (ДД1 и ДД2) — датчики детонации; ДР — диагностический разъем; V60 (РПД) — регулятор положения дроссельной заслонки; N80 (ЗПК) — запорный пневмоклапан для подсистемы утилизации паров бензина из бензобака; Z19 (ПДК) — подогрев внутри ДКК; J17 (РБН) — реле бензонасоса; G6 (ЭБН) — электробензонасос; ВСЗ — выходные компоненты системы зажигания; N30–N33 (РФ1—РФ4) — рабочие клапанные форсунки впрыска бензина; K117 (Ks) — контрольная лампа самодиагностики.

ма комплексной системы управления "Motronic M3.2" со всеми компонентами (устанавливается на автомобилях AUDI.A4 с 4-х цилиндровым двигателем 1.8-5V.ADR после 1995 г.). Электрическая схема этой системы показана на рис. 18.5.

Интересным новшеством, которое впервые применено в системе "Motronic M3.2", является узел управления дроссельной заслонкой с реверсным электросервоприводом (на рис. 18.4 поз. ДПД, ДПР, ДХХ, РПД). В этом блоке отсутствуют обводной (байпасный) канал с клапаном дополнительной подачи воздуха, которые широко применяются в ранних модификациях систем впрыска бензина. Здесь дополнительный воздух для управления частотой вращения двигателя на холостом ходу подается непосредственно через диффузор дроссельной заслонки (ДЗ), степень открытия которой автоматически контролируется и управляется от ЭБУ. Благодаря этому подсистема стабилизации оборотов холостого хода (ХХ) стала более устойчивой при любых изменениях условий работы двигателя, уменьшилась вероятность попадания недозированного воздуха во впускной коллектор, понизился расход топлива на ХХ, уменьшилось количество вредных компонентов в выхлопных отработавших газах.

• На рис. 18.6 показан узел управления дроссельной заслонкой. Помимо механических устройств управления, в этом узле установлены и три электрических: контактный датчик 2 закрытого состояния ДЗ (датчик — ДХХ), потенциометр 1 положения дроссельной заслонки (датчик положения дросселя ДПД) и потенциометр 3 регулятора ДЗ (датчик положения регулятора ДПР). Эти три датчика "следят" за положением дроссельной заслонки и за положением регулятора ДЗ и формируют информацию для ЭБУ в виде аналоговых электрических сигналов. При этом, как только дроссельная заслонка попадает в исходное (краевое) положение, срабатывает датчик холостого хода (ДХХ) и ЭБУ включает в работу электросервопривод регулятора положения дросселя (РПД). Электросервопривод оснащен микродвигателем 13 постоянного тока (с реверсом), вал 6 которого через понижающий редуктор 7 соединен с поворотным барабаном 4 регулятора ДЗ. Сам поворотный барабан

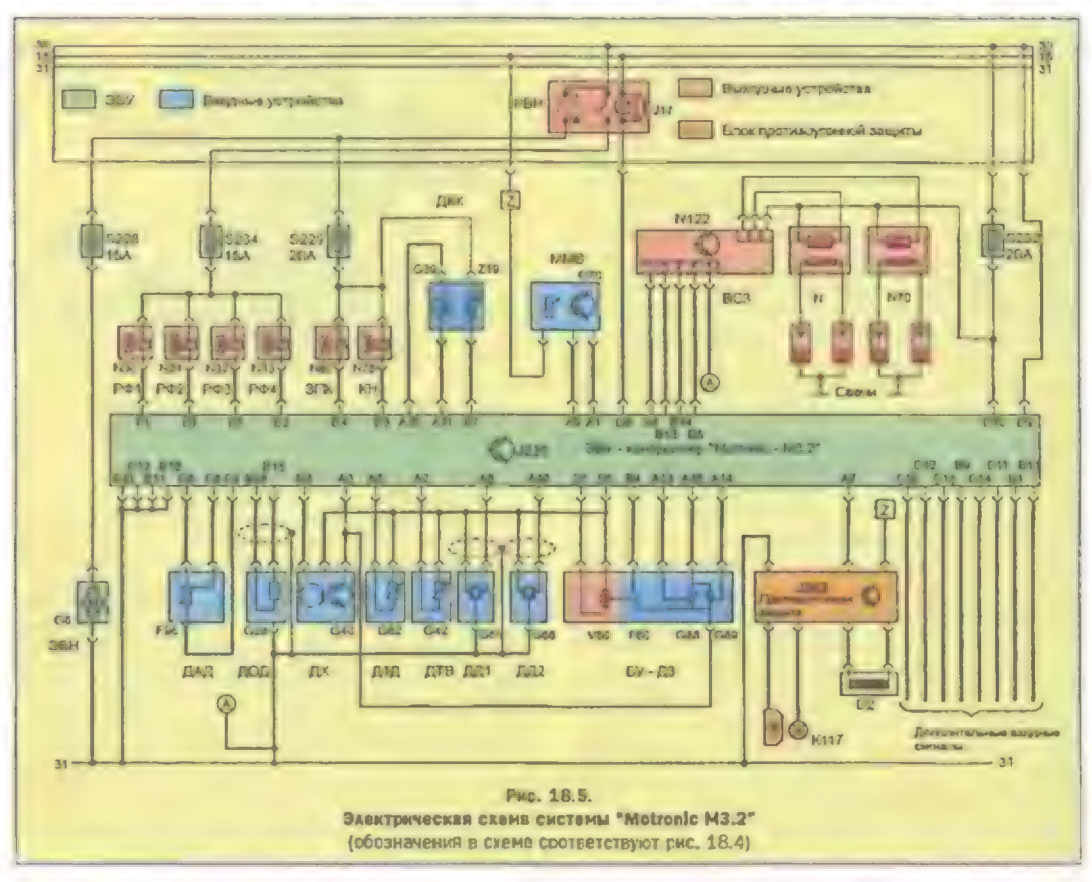


Рис. 18.5.
Электрическая схема системы "Motronic M3.2"
(обозначения в схеме соответствуют рис. 18.4)

установлен на оси 11 дроссельной заслонки 12 таким образом, что имеется возможность прокручивания оси ДЗ внутри барабана. Таким способом обеспечивается "развязка" между двумя потенциометрами (регулятора и дросселей заслонки).

Новая конструкция узла управления дроссельной заслонкой позволяет значительно расширить функции акселератора (педали газа):

1. Педаль газа "мягко" связана с дроссельной заслонкой тросом Боудена, т.е. при быстром отпускании педали дроссельная заслонка сразу не закрывается, а попадает под управление регулятором ДЗ. Регулятор через поворотный барабан принимает на себя дроссельную заслонку и плавно опускает ее в регулируемое положение для холостых оборотов.

2. Холостые обороты двигателя не зависят от положения педали газа, а постоянно корректируются регулятором ДЗ с помощью ЭБУ под изменения нагрузки и температуры двигателя. Чувствительность регулятора ДЗ на изменение частоты вращения коленвала ДВС ± 10 мин$^{-1}$.

3. Если ток управления электросервоприводом ДЗ (сигнал от ЭБУ к регулятору ДЗ) значительно ниже нормы (или равен нулю), то возвратная пружина 5 переводит дроссельную заслонку в нерегулируемое положение (до упора в установочный болт).

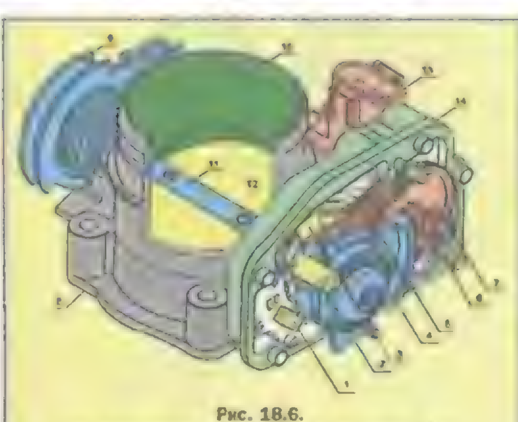


Рис. 18.6.

Узел управления дроссельной заслонкой (ДЗ):

1 — потенциометрический датчик (ДПД) положения ДЗ; 2 — датчик ХХ (закрытого состояния ДЗ); 3 — потенциометрический датчик ДПР положения регулятора ДЗ; 4 — механизм привода ДЗ от электродвигателя; 5 — пружина возврата ДЗ в закрытое состояние при торможении двигателем (режим принудительного холостого хода); 6 — ведущая шестерня механизма привода ДЗ на оси приводного электродвигателя; 7 — ведомая промежуточная шестерня РПД; 8 — корпус узла ДЗ; 9 — устройство привода ДЗ от педали газа (через тросс Боудена); 10 — воздушный диффузор ДЗ; 11 — поворотная ось ДЗ; 12 — дроссельная заслонка (ДЗ); 13 — электродвигатель РПД с контактным разъемом; 14 — корпус узла ДЗ (крышка снята).

18.5. Системы непосредственного впрыска бензина (группа "D")

Идея непосредственного впрыска топлива в цилиндры достаточно давно и полно изучена и отработана в дизельном двигателе. В бензиновых ДВС непосредственный впрыск стал применяться совсем недавно. Этому есть ряд причин, главная из которых — высокая сложность реализации

1. Предварительные замечания

Непосредственный впрыск бензина в цилиндры (или в камеры сгорания) ДВС имеет ряд преимуществ по сравнению с впрыском во впускной коллектор (в системах группы "Моно") или на впускные клапаны (в системах группы "К" и "L"). Эти преимущества следующие:

— впрыск бензина в цилиндр реализуется под высоким давлением, чем достигается значительное измельчение его капель и высокая кинетическая энергия струи впрыска;

— имеет место полная равномерность распределения топлива по цилиндрам;

— происходит внутреннее смесеобразование;

— обеспечивается перемешивание компонентов топливовоздушной смеси на молекулярном уровне.

Системы непосредственного впрыска бензина в цилиндры (или в камеры сгорания) объединяют в группу "D", которая получила свой индекс от немецкого слова "direkt", что означает "непосредственный".

Двигатели с такой системой топливного питания исключительно экономичны. Но широкому внедрению систем впрыска группы "D" препятствует их высокая конструктивная сложность, а также значительная трудоемкость при ремонте и наладке. Из-за низких смазывающих свойств бензина топливный насос высокого давления (основной компонент системы "D") обладает недостаточной надежностью. Гидромеханические форсунки закрытого типа, которыми оснащаются системы группы "D", при работе под высоким давлением требуют их установки непосредственно в головке блока цилиндров с помощью резьбового сочленения, что исключает возможность их эффективного охлаждения потоком бензина. Камера сгорания при реализации внутреннего смесеобразования должна иметь специальную конфигурацию, которая не поддается теоретическому расчету. Ее форму подбирают экспериментально в процессе конструктивной разработки двигателя. Для систем впрыска группы "D" требуются специальные свечи зажигания. Бензиновые трубопроводы и их сочленения должны обладать исключительно высокой эксплуатационной надежностью.

Преодолеть все эти трудности "под силу" не каждой моторостроительной фирме.



Рис. 18.7. Гидромеханическая система впрыска бензина "Kugelfischer":
1 — регулируемая тяга управления от педали газа; 2 — трубопровод к форсункам; 3 — зубчатый шкив и ремень привода БНВД; 4 — БНВД; 5 — гидромеханические форсунки закрытого типа высокого давления; 6 — переходные уплотнительные втулки; 7 — входной бензоштуцер; 8 — сливной бензоштуцер; 9 — регулятор; 10 — защитный кожух для шкива и ремня привода.

2. Система впрыска "Kugelfischer"

Ранние реализации систем впрыска бензина группы "D" были чисто механическими. Наиболее известная из них — система "Kugelfischer" немецкого производства, которая устанавливалась на двигателях для автомобилей "BMW".

На рис. 18.7 показаны основные составные части этой системы, которая работает следующим образом. Бензин с помощью обычного электробензонасоса подается из топливного бака в механический многосекционный шестеренчатый бензонасос высокого давления (БНВД). БНВД приводится в действие от коленчатого вала двигателя посредством ременной передачи 3. К закрытым гидромеханическим форсункам 5 бензин поступает по трубопроводам 2 поочередно в соответствии с порядком работы двигателя. Давление во внутренних полостях форсунок может изменяться в диапазоне от 120 до 180 бар под воздействием регулятора 9, который в свою очередь управляется водительской педалью газа через систему регулируемых рычагов и тяг (поз. 1 на рис. 18.7). Как и в обычной форсунке закрытого типа, изменение давления в ее внутренней полости приводит к изменению цикловой подачи бензина в каждый цилиндр в отдельности. БНВД получает топливо через входной штуцер 7, а излишки топлива возвращаются в бензобак через выходной штуцер 8. Все резьбовые сочленения БНВД и форсунок уплотнены специальными втулками 6. Практика эксплуатации системы "Kugelfischer" не показала заметных ее преимуществ перед механическими системами группы "K" и "KE" и поэтому быстро была снята с производства.

3. Современные системы непосредственного впрыска бензина

Новый стимул к внедрению систем непосредственного впрыска бензина на двигателе легкового автомобиля возник с разработкой насос-форсунок высокого давления (НФВД). Эти устройства обеспечивают возможность впрыска бензина с разделением цикловой подачи на отдельные порции. Объем каждой порции, момент и продолжительность ее впрыска в цилиндр строго регламентируются электронной системой управления. При этом все три параметра изменяются по заложенной в ЭБУ программе в зависимости от нагрузочного, скоростного и теплового режимов двигателя.

Примером системы непосредственного впрыска с управляемой цикловой подачей бензина может служить система, разработанная фирмой TOYOTA для двигателя TD-4. Основным узлом этой системы является комбинированное устройство — насос-форсунка (рис. 18.8).

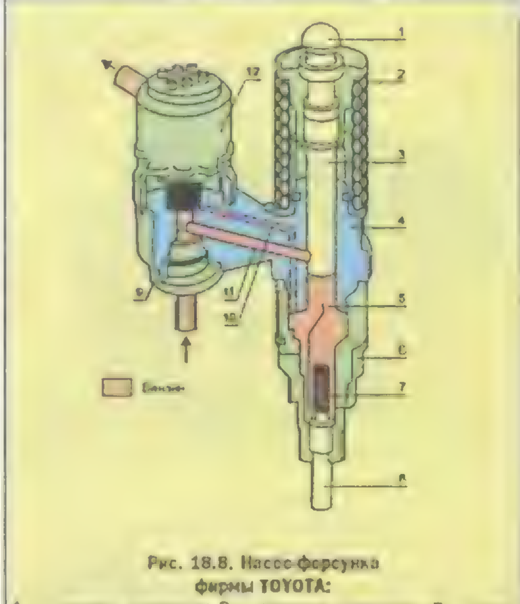


Рис. 18.8. Насос-форсунка фирмы TOYOTA:
1 — головка плунжера; 2 — пружина плунжера; 3 — гладкий цилиндрический плунжер; 4 — гильза плунжера; 5 — рабочая полость плунжерного насоса; 6 — корпус закрытой форсунки; 7 — возвратная пружина запорного клапана форсунки; 8 — корпус запорного клапана форсунки с распылителем; 9 — управляющий клапан (электроклапан, регулирующий давление в полости 5, под управлением от ЭБУ-впрыска); 10 — сливной канал; 11 — подводящий топливный канал; 12 — электромагнитная система управляющего клапана.

В этом устройстве односекционный одноплунжерный насос высокого давления (100...150 бар) расположен непосредственно в корпусе закрытой гидромеханической форсунки и приводится в действие кулачком распределительного вала. Насосная часть форсунки содержит гладкую гильзу 4 с отверстием наполнительного канала 11, гладкий цилиндрический плунжер 3 и сливной канал 10. Рабочее движение плунжера вниз обеспечивается воздействием кулачка распредвала, в обратное — пружиной 2. Заполнение бензином подплунжерной полости 5 гильзы происходит при положении плунжера выше наполнительного отверстия и продолжается до тех пор, пока оно не окажется перекрытым опускающимся плунжером.

Давление под плунжером начнет возрастать только в том случае, если будут одновременно перекрыты отверстия наполнительного и сливного каналов. Бензин для заполнения рабочей полости насос-форсунки подается обычным для систем впрыска способом — электробензонасосом низкого давления. Впрыск бензина в цилиндр произойдет только тогда, когда давление под плунжером превысит давление открывания клапана закрытой форсунки.

Впрыск несколькими порциями за один ход плунжера вниз реализуется за счет многократного (по числу порций) сброса давления в рабочей полости насос-форсунки ниже значения 100 бар (давление, при котором запорный клапан форсунки закрывается). Сброс давления происходит тогда, когда открывается запорный электромагнитный клапан в сливном канале. Этот клапан управляется от электронной автоматики впрыска и срабатывает достаточно быстро для того, чтобы за один цикл подачи бензина успеть сформировать 3-4 порции топлива. Для повышения надежности порциального впрыска объем рабочей полости под плунжером больше объема максимальной цикловой подачи. При обратном ходе плунжера вверх запорный клапан сливного канала постоянно открыт и рабочая полость насос-форсунки наполняется бензином из обратной бензомагистрали до тех пор, пока плунжер не откроет отверстие прямого наполнительного канала. С этого момента бензин под напором подающего электробензонасоса начинает протекать через полость насос-форсунки от входного (подводящего) к сливному отверстию. Так реализуется промывка и охлаждение насос-форсунки в течение времени от конца предыдущего до начала очередного впрыска.

Основное преимущество порциального впрыска бензина состоит в том, что в камере сгорания к моменту воспламенения образуется послойная структура топливовоздушного заряда с различным коэффициентом α в слоях. Это позволяет полностью сжигать топливо в очень бедных ТВ-смесях (с усредненным коэффициентом $\alpha = 2$). Экономия топлива достигает 30-35%. Повышаются равномерность крутящего момента и удельная мощность двигателя.

Возможности насос-форсунки и электронного управления цикловой подачей в двигателе "TD-4" дополнены тщательным подбором объема и формы камер сгорания в крышке цилиндров и в поршнях, местом и геометрией расположения форсунок и свечей зажигания, формой и дальнобойностью факела распыленного бензина.

Указанные схемно-конструктивные решения, реализованные в двигателе TD-4, позволили получить ряд принципиально новых эффектов:

— состав топливовоздушной смеси в цилиндре до момента принудительного воспламенения от свечи зажигания находится под контролем и управлением от ЭБУ впрыска и всегда неоднороден. Вблизи электродов свечи расположена сравнительно небольшая область, в которой состав ТВ-смеси близок к нормальному ($\alpha = 1$). Это обеспечивает надежное воспламенение ТВ-смеси в цилиндре. Далее, по мере удаления от электродов свечи к периферии камеры сгорания, состав ТВ-смеси обедняется, при этом среднее по объему камеры сгорания качество смеси соответствует значению $\alpha = 2$. Выжигание такой бедной смеси обеспечивается факелом "открытого огня", который образуется при возгорании нормальной (стехиометрической) ТВ-смеси в области электродов свечи зажигания;

— порциальный впрыск топлива способствует образованию неоднородности ТВ-смеси не только по составу, но и по температуре заряда. Так, температура смеси, по мере удаления от свечи зажигания, понижается и около стенок камеры сгорания оказывается самой низкой благодаря тому, что на периферию бензин попадает в последний момент впрыска. Полученный эффект существенно снижает критический порог появления детонации. В результате оказалось возможным использовать низкооктановый бензин (типа АИ-92 вместо АИ-98) для двигателя с высокой степенью сжатия (более 10,5).

Полученные результаты испытаний двигателя "Toyota D-4" позволяют считать описанную систему непосредственного впрыска бензина перспективной для широкого внедрения на легковых автомобилях.

Однако двигатели, работающие на сильно обедненных топливовоздушных смесях, порождают исключительно сложную техническую проблему — необходимость нейтрализации оксидов азота NO_x, количество которых в выхлопных газах таких двигателей значительно повышено.

МИКАС — КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

На автомобилях ГАЗ-3102, -3110 "Волга" устанавливается бензиновый двигатель ЗМЗ-4062.10. Он оборудован комплексной системой управления МИКАС 5.4 отечественного производства [12]. По принципу действия и устройству система МИКАС подобна системе "Motronic" немецкой фирмы BOSCH и так же, как и последняя, относится к электронным системам автоматического управления автомобильным двигателем (ЭСАУ-Д) с объединением функций по впрыску и зажиганию.

19.1. Компонентный состав системы МИКАС

В состав системы входят: комплект датчиков (входная периферия), электронный блок управления (ЭБУ), набор исполнительных устройств (выходная периферия) и жгут проводов с соединителями (выполняет функции простейшего интерфейса)*. В системе могут применяться комплектующие изделия как отечественного производства, так и фирмы BOSCH. Перечень типов изделий сведен в табл. 19.1.

А. Входная периферия

Как следует из табл. 19.1, в системе МИКАС применяются семь датчиков, которые в совокупности образуют входную периферию.

- **Датчик температуры воздуха во впускном трубопроводе** (ДТВ) В64 **и датчик температуры охлаждающей жидкости** (ДТД) В70 являются интегральными датчиками. Они представляют собой термочувствительные полупроводниковые элементы на одном кристалле с периферийными электронными микросхемами. ДТВ установлен в канале впускной трубы 4-го цилиндра, а ДТД — на корпусе термостата, слева. Выходным сигналом в каждом из датчиков является падение напряжения на полупроводниковом элементе, которое зависит от измеряемой температуры. По этим сигналам ЭБУ корректирует характеристики топливоподачи и угла опережения зажигания. При возникновении неисправностей в датчиках или в их цепях в комбинации приборов загорается контрольная лампа.

- **Датчик положения коленчатого вала** (ДКВ) В74 индукционного типа. Предназначен для определения частоты вращения двигателя, а также для синхронизации впрыска топлива форсунками и момента зажига-

Таблица 19.1

Обозначение в схеме	Наименование изделия	Тип изделия: отечественного производства	фирмы BOSCH
1	2	3	4
B64	Датчик температуры воздуха во впускном трубопроводе	19.3828	–
B70	Датчик температуры охлаждающей жидкости	[illegible]	[illegible]
B74	Датчик положения коленчатого вала (частоты вращения и синхронизации)	406.3847113 или 23.3847	0261210113
B75	Датчик массового расхода воздуха	ИВКШ 407282.000	0280217014
B76	Датчик положения дроссельной заслонки	406.113[illegible]	[illegible]
B91	Датчик положения распределительного вала (фазы)	406.3847006 или 406.3847050, СИБ2-01БМ-02-213	0232103006
B92	Датчик детонации	406.3855000 или GT305	0261231046
D23	Электронный блок управления	МИ 5.4 (201.3763-001) или АВТРОН ИГСЗ.031.141)	–
FV1-FV4	Свечи зажигания	А14ДВР	–
K3	Реле электробензонасоса	111.3747	–
K46	Разгрузочное реле системы управления двигателем (главное реле)	111.3747	–
[illegible]	Электробензонасос	[illegible]	[illegible]
T1, T4	Катушки зажигания	3012.3705	–
Y19-Y22	Электромагнитные форсунки	406.1132711 или 19.1132010, DEKA1AS261 (ZMZ, SIEMENS)	0280150711
Y23	Регулятор дополнительного воздуха	406.1147545 или SE2 573 000	0280140545

* *Интерфейс — подсистема унифицированных связей и сигналов, посредством которых составные компоненты соединяются друг с другом в единую функциональную систему.*

ния с рабочими процессами двигателя (ДВС). ДКВ установлен в передней части двигателя с правой стороны, напротив зубчатого диска синхронизации. Диск синхронизации закреплен на шкиве коленчатого вала и представляет собой зубчатое колесо с 58 зубьями, расположенными по его периферии с шагом 6°. Для синхронизации два зуба отсутствуют. Номер зуба на диске отсчитывается от места пропуска двух зубьев (от впадины) против часовой стрелки. При совмещении середины первого зуба диска синхронизации с осью датчика коленчатый вал двигателя находится в положении 120° (20 зубьев) до верхней мертвой точки 1-го и 4-го цилиндров. При вращении коленчатого вала (следовательно, диска синхронизации) в обмотке датчика наводятся импульсы напряжения переменного тока. По количеству и частоте следования этих импульсов в ЭБУ определяется положение и частота вращения коленвала, по которым рассчитывается момент срабатывания форсунок и катушек зажигания.

В случае выхода из строя ДКВ или его электрической цепи двигатель перестает работать и ЭБУ заносит в свою память код неисправности, а также включает лампу диагностики, сигнализируя о неисправности.

- **Датчик массового расхода воздуха** (ДММ) B75 термоанемометрического типа (массметр). Установлен во впускном тракте после воздушного фильтра и служит для определения количества массы воздуха, поступающего в цилиндры двигателя. Чувствительным элементом датчика является платиновая нить (ПН), которая во время работы двигателя разогревается до температуры 150°С. Воздух, всасываемый в цилиндры двигателя, охлаждает нить, а электронная схема датчика поддерживает температуру нити постоянной (150°С). На поддержание температуры платиновой нити на прежнем уровне затрачивается определенная электрическая мощность, которая является параметром для определения массового расхода воздуха. В состав ДММ включен термокомпенсационный резистор, с помощью которого учитывается влияние температуры проходящего воздуха на степень охлаждения платиновой нити. Выходной сигнал ДММ представляет собой напряжение постоянного тока, величина которого зависит от количества воздуха, проходящего через датчик. На режиме холостого хода двигателя массовый расход воздуха должен быть в пределах 13...15 кг/ч. Сигналы датчика поступают в ЭБУ, где используются для определения длительности впрыска топлива форсунками.

Для очистки платиновой нити датчика от загрязнений периодически (после каждой остановки ДВС) на нее кратковременно подается повышенное напряжение, вызывающее нагрев до 1000°С. При этом все отложения на нити сгорают.

В электронной схеме датчика предусмотрен потенциометр, с помощью которого можно провести регулировку (винтом) содержания окиси углерода (СО) в отработавших газах в режиме работы двигателя на холостом ходу.

При выходе из строя датчика или его электрических цепей система управления переходит на резервный режим работы. В этом случае ЭБУ заменяет сигнал ДММ сигналом от схемы электронного резервирования (СЭР), значение которого рассчитывается по частоте вращения коленчатого вала и сигналу датчика положения дроссельной заслонки. При этом затрудняется пуск двигателя, ухудшается его приемистость, повышается расход топлива и токсичность отработавших газов. О возникшей неисправности ДРВ ЭБУ через определенное время заносит в свое запоминающее устройство (ЗУ) код неисправности и включает на комбинации приборов контрольную лампу диагностики.

- **Датчик положения дроссельной заслонки** (ДПД) B76 потенциометрического типа, подвижная часть которого соединена с осью дроссельной заслонки. Выходным сигналом ДПД является падение напряжения на переменном резисторе датчика, которое изменяется в зависимости от угла поворота дроссельной заслонки. По сигналу датчика о положении дроссельной заслонки в ЭБУ корректируются длительность электрического импульса, подаваемого на форсунки, и значение угла опережения зажигания. Полностью закрытому положению дроссельной заслонки соответствует выходное напряжение датчика не ниже 1,25 В, а полностью открытому — не более 4,8 В. ДПД в системе управления выполняет также функцию идентификации отдельных режимов работы двигателя (холостой ход, частичная или полная нагрузка, разгон автомобиля).

При выходе из строя ДПД или его электрических цепей система управления работает по резервной программе, заложенной в памяти ЭБУ, используя данные ДРВ. При этом в комбинации приборов загорается контрольная лампа диагностики.

- **Датчик положения распределительного вала (фазы)** (ДРВ) B91 предназначен для определения момента нахождения поршня 1-го цилиндра в верхней мертвой точке при такте сжатия. Он выполняет функции датчика начала отсчета и установлен в задней части головки блока цилиндров с левой стороны. Принцип работы ДРВ основан на эффекте Холла. При прохождении мимо торца ДРВ металлической пластины (отметчика датчика), закрепленной на распределительном валу выпускных клапанов, формируется электроимпульсный сигнал, который после усиления подается в ЭБУ. ЭБУ обрабатывает этот сигнал и выдает команду на впрыск топлива форсункой 1-го цилиндра. Дальнейшая подача импульсов на форсунки осуществляется в соответствии с порядком работы цилиндров двигателя 1-3-4-2.

Если ДРВ или его электрические цепи неисправны, то ЭБУ переходит на резервный режим работы.

При этом впрыск топлива осуществляется одновременно во все цилиндры двигателя, что существенно повышает расход бензина. О наличии неисправности датчика сигнализирует контрольная лампа в комбинации приборов.

- **Датчик детонации** (ДД) В92 пьезоэлектрического типа установлен на блоке цилиндров двигателя с правой стороны. Чувствительным элементом ДД является кварцевый пьезоэлемент, который при работе двигателя воспринимает возникающую вибрацию через инерционную массу (шайбу) датчика. В результате на его обкладках за счет пьезоэффекта появляется электрический сигнал в виде переменного напряжения. При детонационном сгорании топливовоздушной смеси в блоке цилиндров двигателя возникают звуковые колебания, что вызывает увеличение амплитуды напряжения электрического сигнала датчика. По этому сигналу ЭБУ корректирует угол опережения зажигания до прекращения детонации. В случае выхода из строя датчика или наличия неисправности в его электрических цепях изменение угла опережения зажигания оптимизируется.

Б. Электронный блок управления

Электронный блок управления (ЭБУ) D23 является центральным звеном всей системы. Он получает аналоговую информацию от датчиков, обрабатывает ее с помощью аналого-цифровых преобразователей (АЦП) и по заложенной в ЗУ программе реализует управление исполнительными устройствами.

Связь ЭБУ с электрической схемой системы осуществляется посредством 55-контактного штекерного разъема (соединителя). Назначение выводных контактов в штекерном разъеме ЭБУ дано в табл. 19.2.

ЭБУ имеет три типа памяти: постоянное запоминающее устройство (ПЗУ или ROM), оперативное запоминающее устройство (ОЗУ или RAM) и электрически перезаписываемое энергонезависимое запоминающее устройство (ЭПЗУ или EEPROM).

ПЗУ — энергонезависимая память, в которой "зашита" общая программа управления (алгоритмы) и исходная (базовая) информация. Эта информация представляет собой данные по продолжительности впрыска топлива форсунками, времени наполнения энергии в катушках зажигания и углу опережения зажигания при определенных режимах работы ДВС. Содержимое ПЗУ не может быть изменено после программирования. Эта память не нуждается в электропитании для сохранения в ней информации, т.е. не стирается при отключении аккумуляторной батареи (АКБ) от бортсети автомобиля.

ОЗУ — энергозависимая память, которая используется для временного хранения измеренных параметров, результатов расчетов и кодов неисправностей. Микропроцессор ЭБУ может по мере необходимости вносить в ОЗУ данные или считывать их. При прекращении подачи питания на ЭБУ содержащиеся в ОЗУ расчетные данные (в том числе и диагностические коды) стираются.

ЭПЗУ — память, в которую на заводе-изготовителе или станции технического обслуживания записывается информация паспортного характера, а также информация о параметрах начальной настройки системы. Эта память не требует питания для хранения в ней информации.

В. Выходная периферия

В выходную периферию системы МИКАС входят пять исполнительных устройств.

1. Электробензонасос М6 роликового типа с приводом от электродвигателя постоянного тока предназначен для подачи бензина к форсункам под давлением. Бензонасос и его приводной электродвигатель размещаются в одном герметичном корпусе. Прокачиваемый насосом бензин обеспечивает охлаждение электродвигателя и смазку трущихся поверхностей. В насосе имеются два клапана. Предохранительный клапан защищает топливную систему от чрезмерного повышения давления (свыше 4 бар), а обратный клапан препятствует сливу топлива из бензомагистрали в бак после остановки насоса, что предотвращает образование паровых и воздушных пробок. Электробензонасос подключен к бортовой сети автомобиля через электромагнитное реле. Если в течение 3...5 с после включения зажигания прокручивание коленчатого вала двигателя не начинается, ЭБУ отключает реле электробензонасоса. Дальнейшее включение бензонасоса произойдет при пуске двигателя стартером. Электрическая цепь электробензонасоса защищена плавким предохранителем №9 на 15 А (голубого цвета) в правом блоке. Производительность насоса составляет 130 л/ ч, потребляемый ток 6,5 А.

2. Топливные форсунки Y19-Y22 представляют собой электромагнитные устройства и служат для впрыска под давлением рассчитанного в ЭБУ количества топлива на впускные клапаны двигателя. Количество топлива, впрыскиваемого форсункой, зависит от длительности электрического импульса, подаваемого в обмотку электромагнитного клапана форсунки от ЭБУ. В двигателе ЗМЗ-4062.10 форсунки реализуют фазированный (согласованный) способ впрыскивания топлива, когда подача топлива в зону впускных клапанов каждого цилиндра осуществляется в определенной фазе рабочего цикла. Каждая форсунка включается один раз за оборот коленчатого вала или два раза за полный рабочий цикл двигателя.

3. Катушки зажигания Т1, Т4 — двухвыводные, с замкнутым магнитопроводом, "сухие", реализуют статический (низковольтный) способ распределения импульсов высокого напряжения по свечам в цилиндрах двигателя.

Таблица 19.2

Номер вывода	Назначение выводов в разъеме ЭБУ	Цвет и цифровая маркировка провода
1	2	3
1	КЗ 1, 4. Выход управления зажиганием 1-го и 4-го цилиндров. Соединен с катушкой Т1	Белый (1)
2	Общий GNL. Заземление ЭБУ (силовых цепей). Соединен с "массой" в точке Б	Черно-белый (2)
3	РБН. Управление реле электробензонасоса. Соединен со штекером "86" реле. При включении зажигания ЭБУ подает напряжение батареи (+12В) на обмотку реле. При отсутствии вращения коленчатого вала ЭБУ отключает реле	Бело-зеленый (3)
4	РДВ/1 (закрытие). Соединен с контактом "3" регулятора дополнительного воздуха	Серо-голубой (4)
6	ДМРВ (−). Соединен с контактом "6" ("−") датчика массового расхода воздуха	Бело-черный (6)
7	ДМРВ (+). Входной сигнал ДМРВ. Соединен с контактом "3" (+) датчика массового расхода воздуха	Черно-желтый (7)
8	ДПРВ (+). Входной сигнал ДПРВ. Соединен с контактом "2" ("+") датчика фазы	Розовый (8)
11	ДД (+). "+" датчика детонации. Соединен с контактом "2" ("+") датчика	Зелено-белый (11)
12	ДПДЗ (питание +5В). Соединен с контактом "1" датчика положения дроссельной заслонки	Бело-желтый (12)
13	L – Line (L – линия диагностики). Соединен с контактом "10" колодки диагностики	Коричневый (13)
14	Общий GNP. Заземление ЭБУ (цепей датчиков). Соединен с "массой" в точке Б	Черный (14)
16	Форсунка 2. Управление форсункой 2-го цилиндра. Соединен с контактом "1" форсунки	Розово-зеленый (16)
17	Форсунка 1. Управление форсункой 1-го цилиндра. Соединен с контактом "1" форсунки	Оранжевый (17)
18	+12В (клемма "+" аккумуляторной батареи). Соединен через разъем подключения к бортсети и предохранитель № 10 (15А) правого блока с "+" батареи	Серый (18)
19	Общий GND. Заземление ЭБУ (цифровых датчиков). Соединен с "массой" в точке А	Серо-красный (19)
20	КЗ 2, 3. Выход управления зажиганием 2-го и 3-го цилиндров. Соединен с катушкой Т4	Коричнево-белый (20)
22	ЛД. Выход управления контрольной лампой диагностики. Соединен через разъем подключения к бортсети с контактом "1" штекерного разъема ХР4 комбинации приборов	Розово-голубой (22)
24	Общий GNI. Заземление ЭБУ (силовых цепей). Соединен с «массой» в точке Б	Черно-красный (24)
26	РДВ/2 (открытие). Соединен с контактом «1» регулятора дополнительного воздуха	Желто-черный (26)
27	Вывод 15. Соединен через разъем подключения к бортсети со штекером "15/1" выключателя зажигания	Цилинево-белый (27)
30	Общий GNA (общий вывод датчиков). Соединен с экраном 311 проводов датчика детонации через голубой (68) провод с контактом "2" датчика положения дроссельной заслонки, через красный (70) провод с контактом "2" датчика температуры воздуха во впускном трубопроводе и через зеленый (69) провод с контактом "2" датчика температуры охлаждающей жидкости	Красно-зеленый (30)
31	ДМРВ (прожиг). Канал управления прожигом ДМРВ. Соединен с контактом «4» датчика массового расхода воздуха	Желто-белый (31)
34	Форсунка 4. Управление форсункой 4-го цилиндра. Соединен с контактом "1" форсунки	Оранжево-красный (34)
35	Форсунка 3. Управление форсункой 3-го цилиндра. Соединен с контактом "1" форсунки	Кр[illegible] (35)
36	ПТСО (+). Выходной сигнал потенциометра СО. Соединен с контактом "6" датчика массового расхода воздуха	Коричнево-голубой (36)
37	Вход +12В. Соединен через контакты разгрузочного реле системы управления двигателем с силовой электропроводкой автомобиля и с контактом "1" датчика фазы	Голубой (37), [illegible] (37)
44	ДТВ. Входной сигнал ДТВ. Соединен с контактом "1" датчика температуры воздуха во впускном трубопроводе	Бело-розовый (44)
45	ДТОЖ. Входной сигнал ДТОЖ. Соединен с контактом "1" датчика температуры охлаждающей жидкости	Бело-серый (45)
46	РГЛ. Управление разгрузочным реле системы управления двигателем. Соединен со штекером "86" реле	Бело-коричневый (46)
48	ДПКВ (−). "−" датчика положения коленчатого вала. Соединен с контактом "1" ("−") датчика	Желто-серый (48)
49	ДПКВ (+). "+" датчика положения коленчатого вала. Соединен с контактом "2" ("+") датчика	Бело-голубой (49)
53	ДПДЗ (+). Входной сигнал ДПДЗ. Соединен с контактом "3" ("+") датчика положения дроссельной заслонки	Зеленый (53)
55	K – Line (K – линия диагностики). Соединен с контактом "11" колодки диагностики	Красно-черный (55)

Указанные в таблице номера выводов ЭБУ, а также цвет и цифровая маркировка проводов соответствуют их обозначениям на электрической схеме (см. далее рис. 19.2).
Выводы 5, 9, 10, 15, 21, 23, 25, 28, 29, 32, 33, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 47, 50, 51, 52, 54 – не используются (резервные)

4. Свечи зажигания FV1...FV4 типа А14ДВР имеют встроенный помехоподавительный резистор сопротивлением 4...10 кОм.

5. Регулятор дополнительного воздуха (РДВ) Y123 поддерживает неизменной заданную частоту вращения в режиме холостого хода двигателя при его пус-

ке, прогреве, движении "накатом" и изменении нагрузки, вызванной включением вспомогательного оборудования. Регулятор установлен на ресивере впускного трубопровода и представляет собой золотниковый клапан, который регулирует подачу воздуха во впускную систему минуя дроссельную заслонку. Основным элементом регулятора является двухобмоточный электродвигатель с неподвижным якорем и вращающимся постоянным магнитом. ЭБУ подает на обмотки неподвижного якоря электрические сигналы частотой 100 Гц. Электрический ток, проходя по обмоткам, возбуждает магнитное поле, которое взаимодействует с потоком постоянного магнита. В результате постоянный магнит занимает определенное угловое положение, а вместе с ним и заслонка, которая изменяет проходное сечение регулятора. При выходе из строя РДВ или его электрических цепей частота вращения холостого хода двигателя становится нестабильной и в комбинации приборов загорается контрольная лампа диагностики.

Г. Функциональные связи компонентов (интерфейс)

На рис. 19.1 показана функциональная схема системы МИКАС, из которой видно, что в ЭБУ-Д23 поступает следующая информация:

— о положении поршня 1-го цилиндра в ВМТ (датчик ДРВ-В91);

— о положении и частоте вращения коленчатого вала (датчик ДКВ-В74);

— о массовом расходе воздуха двигателем (датчик ММ-В75);

— о температуре охлаждающей жидкости (датчик ДТД-В70);

— о температуре воздуха во впускной системе (датчик ДТВ-В64);

— об угле поворота дроссельной заслонки (датчик ДПД-В76);

— о наличии детонации в двигателе (датчик ДДТ-92);

— о напряжении в бортовой сети автомобиля по изменению Uc (ПР — FU-10).

На основе полученной от входных датчиков информации и в соответствии с заложенной в ЗУ программой ЭБУ управляет следующими подсистемами и устройствами:

— подсистемой топливоподачи (электробензонасосом ЭБН-М6 через реле бензонасоса РБН-К9);

— электромагнитными форсунками (Y19-Y22);

— свечами зажигания FV1-FV4 (через катушки зажигания Т1 и Т4);

— подсистемой стабилизации оборотов на холостом ходу (регулятором дополнительного воздуха РДВ-Y23);

— подсистемой диагностики (выходная диагностическая колодка ДК-Х51);

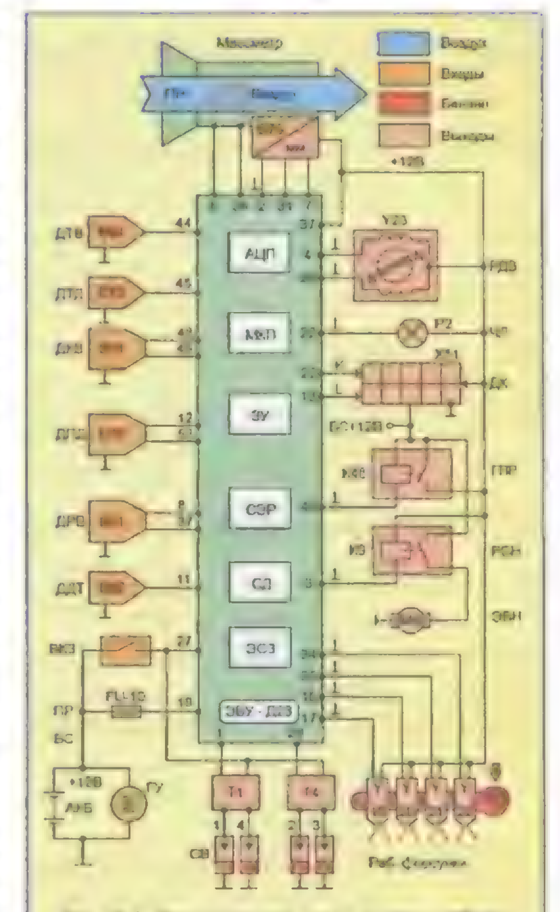


Рис. 19.1. Функциональная схема системы МИКАС: АЦП — аналого-цифровой преобразователь; МКП — микропроцессор; ЗУ — запоминающее устройство; СЭР — схема электронного резервирования; СД — схема диагностики; ЭСЗ — электронные схемы системы зажигания; АКБ — аккумуляторная батарея; ГУ — генераторная установка; БС — бортсеть; ПР — предохранитель; ВКЗ — выключатель ключа зажигания; ПН — платиновая нить; остальные обозначения указаны в тексте и соответствуют табл. 19.1.

— подсистемой электронного резервирования (СЭР).

19.2. Принцип действия системы МИКАС

На рис. 19.2 представлена полная электрическая схема системы МИКАС 5.4, которая соответствует приведенной на рис. 19.1 функциональной схеме и работает следующим образом.

При включении зажигания срабатывает разгрузочное Х-реле системы управления двигателем (глав-

ное реле К46). В комбинации приборов Р2 загорается на время 0,6 с и затем гаснет контрольная лампа диагностики Н91, что свидетельствует об исправности и готовности системы к работе. ЭБУ D23 дает команду на включение электробензонасоса М6 через реле К9. Насос создает рабочее давление бензина в топливном коллекторе для форсунок Y19...Y22. Если прокрутка коленчатого вала двигателя стартером не начинается, то через 3...5 с электробензонасос отключается. При прокручивании и запуске двигателя стартером ЭБУ получает сигналы от датчика положения коленвала (ДКВ) В74, преобразует их в командные импульсы для подачи топлива через все форсунки и определяет последовательность работы катушек зажигания Т1 и Т4. На рабочих режимах двигателя для определения оптимального количества топлива, подаваемого форсунками, и угла опережения зажигания ЭБУ использует сигналы всех датчиков и базовую калибровочную информацию, хранящуюся в ПЗУ. Включение токовых цепей исполнительных устройств (катушек зажигания, форсунок, контрольной лампы диагностики, РДВ, реле К9 и К46) реализуется путем подключения их к "массе" через выходные (силовые) транзисторы в ЭБУ (см. рис. 19.1 и 19.2).

Система управления МИКАС 5.4 наделена функцией самонастройки. Так, в процессе эксплуатации автомобиля ЭБУ системы способен компенсировать небольшие отклонения рабочих параметров двигателя, которые вызываются изменением атмосферных условий, низким качеством топлива, выгоранием электродов свечей, а также износом запорных клапанов форсунок, деталей газораспределительного механизма, цилиндро-поршневой группы.

19.3. Диагностирование неисправностей в системе МИКАС 5.4

Как и все системы управления автомобильным двигателем, входящие в группу "М", отечественная система МИКАС имеет функцию самодиагностики неисправностей, т.е. она способна идентифицировать ту или иную неисправность, ввести ее в ОЗУ ЭБУ, а затем эта неисправность может быть вызвана из памяти с помощью диагностического тестера или при помощи сигнальной лампы диагностики, расположенной в комбинации приборов автомобиля.

• Для проверки технического состояния системы разработан специальный диагностический прибор DST2, который подключается к диагностической колодке (ДК) автомобиля. Обмен информацией между ЭБУ и диагностическим прибором осуществляется по каналу "К-линия". Порядок проведения диагностики подробно описан в инструкции по эксплуатации прибора DST2. Прибор DST2 является дорогостоящим диагностическим оборудованием и, как правило, им оснащаются посты диагностики крупных станций технического обслуживания автомобилей.

Однако в большинстве случаев выявить и устранить неисправности в системе управления двигателем можно с помощью простейших технических средств диагностирования, к которым относятся: стандартный стробоскоп СТБ-1 [13], цифровой мультиметр с внутренним сопротивлением не менее 10 кОм/В (например, ММЦ-1), пробник с контрольной лампой, стрелочный тестер.

• В процессе работы ЭБУ осуществляет постоянную самодиагностику для большинства входных и выходных сигналов и функций управления. В случае возникновения неисправности ЭБУ заносит в свою память (в ЗУ) соответствующий код и включает контрольную лампу Н91 диагностики. Если лампа диагностики не гаснет после включения зажигания и горит при работающем двигателе, то это свидетельствует о необходимости установить причину неисправности в возможно короткий срок.

Каждая неисправность системы управления имеет свой диагностический код, который представляет собой двухзначное или трехзначное число (от 13 до 182). Диагностические коды считываются из памяти ЭБУ в режиме отображения кодов неисправностей. Для установки этого режима при включенном зажигании и неработающем двигателе необходимо замкнуть контакты "10" и "12" диагностической колодки X51 (см. рис. 19.2). При этом по каналу "L-линия" осуществляется запрос разрешения на реализацию функции самодиагностики. В данном режиме ЭБУ путем включения и выключения контрольной лампы Н91 диагностики выдает код 12 (признак исправного состояния диагностической цепи) и коды неисправностей (по старшинству номера). Каждый код выводится три раза подряд. Если кодов неисправностей в памяти ЭБУ нет, то код 12 будет выдаваться до выключения диагностического режима.

Последовательность вспышек диагностической лампы для каждого кода следующая: количество вспышек, соответствующих первой цифре кода, — пауза (1,5 с); количество вспышек, соответствующих второй цифре кода, — пауза (1,5 с); количество вспышек, соответствующих третьей цифре кода, — длинная пауза (4 с); далее повтор кода или вывод нового кода.

• В качестве примера рассмотрим последовательность миганий контрольной лампы диагностики для кода 21 — "Низкий уровень сигнала датчика температуры охлаждающей жидкости". Сначала лампа вспыхнет два раза на время 0,5 с с интервалом в 0,5 с, что означает десятичный разряд 20. Через паузу в 1,5 с контрольная лампа вспыхнет еще один раз, что соответствует единице в единичном разряде. Картина вспышек будет такой: _⎍⎍_⎍__⌐ . Далее через длинную паузу в 4 с код неисправности 21 повторится еще два раза.

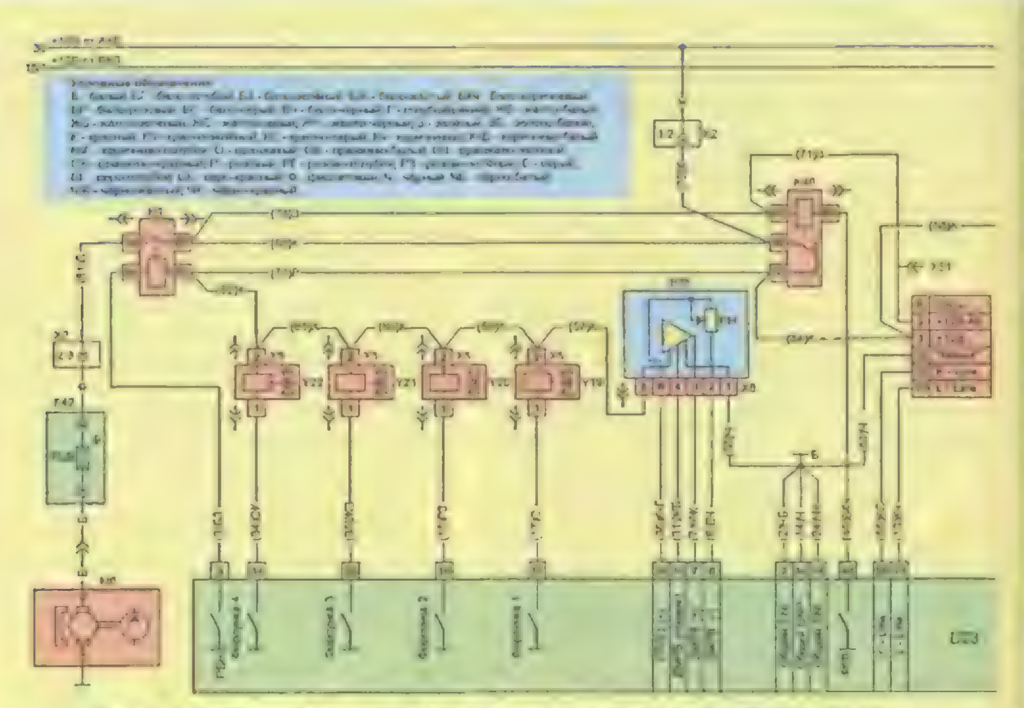


Рис. 19.2. Развернутая электрическая схема системы управления двигателем ЗМЗ-4062.10:
B64 – датчик температуры воздуха во впускном трубопроводе; B70 – датчик температуры охлаждающей жидкости; B74 – датчик положения коленчатого вала (частоты вращения и синхронизации); B75 – датчик массового расхода воздуха, B76 – датчик положения дроссельной заслонки; B91 – датчик положения распределительного вала (фазы); B92 – датчик детонации; D23 – электронный блок управления; F42 – блок предохранителей правый; FU9 – предохранитель №9 (15А); FU10 – предохранитель №10 (10А); Fv1...Fv4 – свечи зажигания;

• Если в режиме отображения неисправностей код 12 отсутствует, необходимо проверить диагностическую цепь системы управления двигателем, в которую входят ЭБУ D23, контрольная лампа H91, диагностическая колодка X51 и провода, соединяющие лампу и колодку диагностики с ЭБУ.

В этом случае, а также — когда контрольная лампа диагностики не загорается или горит постоянно, необходимо проверить:

— исправность провода 22 до разъема X2;
— наличие напряжения на контакте "2" диагностической колодки X51 и на контакте "18" ЭБУ до включения зажигания и появление напряжения после включения зажигания на контакте "1" колодки X51 и контактах "27", "37", ЭБУ;
— надежность соединения ЭБУ с "массой" двигателя (контакт "14" ЭБУ и провод 14).

• В табл. 19.3 приведены диагностические коды и причины неисправностей в составных компонентах системы МИКАС 5.4.

19.4. Проверка параметров и поиск неисправностей с помощью мультиметра и стробоскопа

Для комплексной системы управления МИКАС 5.4 перечень основных рабочих параметров сведен в табл. 19.4.

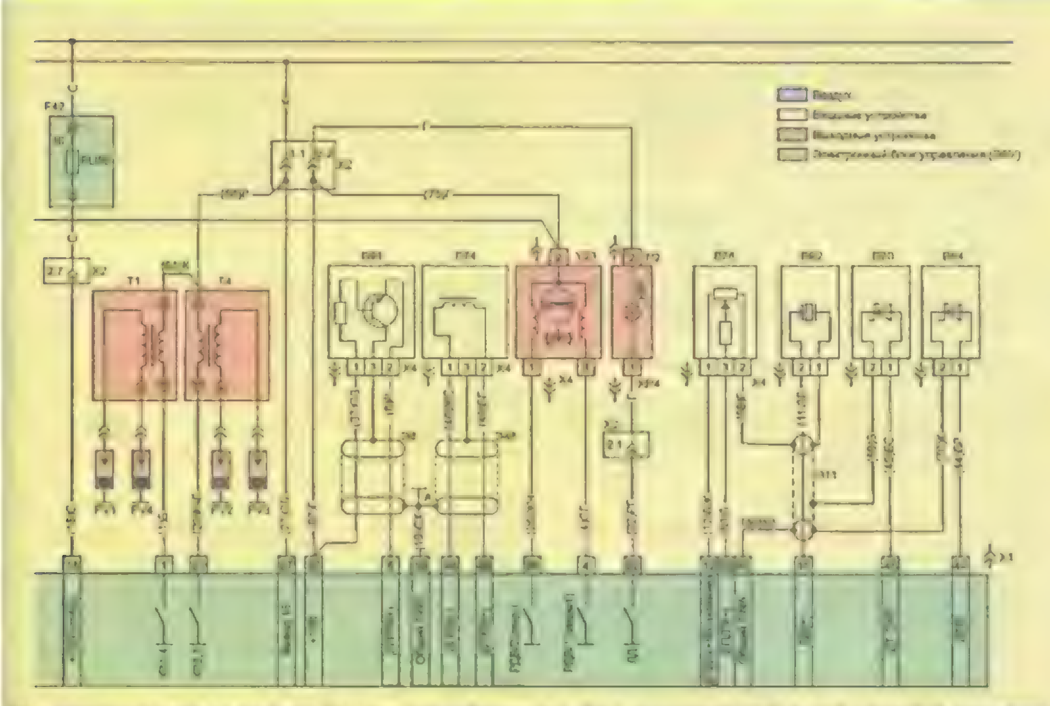
Проверка рабочих параметров проводится в следующей последовательности:

а — порядок работы (1-3-4-2) двигателя проверяется визуально по последовательности подключения высоковольтных проводов от свечей к катушкам зажигания;

б — частота вращения коленвала и начальный угол опережения зажигания проверяются с помощью стробоскопа СТБ-1 [13];

в — длительность впрыска топлива и содержание токсичных веществ в отработавших газах простейшими приборами не определяются;

г — электрические параметры компонентов системы МИКАС 5.4 проверяются с помощью цифрового мультиметра ММЦ-1.



H91 – контрольная лампа диагностики; K9 – реле электробензонасоса; K46 – разгрузочное реле системы управления двигателем (главное реле); M6 – электробензонасос; P2 – комбинация приборов; T1, T4 – катушки зажигания; Y19...Y22 – электромагнитные форсунки; Y23 – регулятор дополнительного воздуха; X1 – разъем блока управления; X2 – разъем подключения системы управления двигателем к бортсети автомобиля; X4 – разъем 3-х штырьковый; X5 – разъем 2-х штырьковый; X6 – разъем датчика расхода воздуха; XS1 – колодка диагностики; XP4 – разъем комбинации приборов; А, Б – точки соединения с корпусом ("массой"); Э8, Э11, Э46 – экраны проводов.

Поиск неисправностей

Все неисправности, считанные в виде кодов с помощью диагностической лампы, следует записать на бумагу и приступить к их поиску в следующей последовательности:

а) предварительно необходимо выключить зажигание, отсоединить отрицательную клемму аккумуляторной батареи от "массы" автомобиля, разъединить контактные колодки от ЭБУ и от проверяемых компонентов системы;

б) обрыв платиновой нити чувствительного элемента в ДММ (код 13) определяется визуально, для чего необходимо предварительно снять датчик B75 с двигателя;

в) обрыв и замыкание внутри датчиков и исполнительных устройств определяется омметром мультиметра:

— в ДММ (при коде 31) измеряют сопротивление между контактами "1" и "6" в его вилке или между контактами "5" и "6" (при коде 32);

— в ДПД измеряют сопротивление между контактами "1" и "3" в его вилке или — "2" и "3" (коды 23, 24);

— в ДРВ измеряют сопротивление между контактами "2" и "3" в его вилке (код 54);

г) в РДВ измеряют сопротивление при наличии:

— межвиткового замыкания (коды 161, 164) или внутреннего обрыва (коды 162, 165) между контактами "2" и "3" в его вилке для первой обмотки и "1" и "2" — для второй обмотки;

— короткого замыкания на "массу" (коды 163, 166) между контактом "2" и "массой";

д) у реле электробензонасоса (коды 167, 168) и главного реле (коды 177, 178) при подозрениях на межвитковое замыкание или обрыв обмоток измеряют сопротивление между штекерными выводами "85" и "86", а в случае замыкания обмоток реле на "массу" — между выводом "85" и выводом "86" и корпусом;

е) в случае межвиткового замыкания в обмотках показания омметра будут меньше нормативных значений, указанных в табл. 19.4. При обрывах обмоток, а также в случае отсутствия короткого замыкания "на массу" омметр покажет "бесконечность";

ж) обрыв или замыкание соединительного провода на "массу" и замыкание между проводами также

Таблица 19.3

Код	Описание диагностического кода неисправности	Неисправность составного элемента	Причины неисправности			
			Обрыв или плохое соединение проводов	Замыкание проводов		
				на "массу"	между собой	на шину +12 В
1	2	3	4	5	6	7
13	Низкий уровень сигнала датчика массового расхода воздуха	Обрыв платиновой нити чувствительного элемента	(57)К	(57)К, (7)ЮК	(6)БЧ и (7)ЧК или (56)Ч и (7)ЧК	
14	Высокий уровень сигнала датчика массового расхода воздуха	Отсутствие подключения розетки к датчику (при наличии дополнительно кода 32)	(56)Ч, 6(БЧ)		(7)ЧК и (57)К	–
17	Низкий уровень сигнала датчика температуры воздуха	Замыкание внутри датчика	–	(44)БР	44(БР) и (70)К	–
18	Высокий уровень сигнала датчика температуры воздуха	Отсутствие подключения розетки к датчику или внутренний обрыв датчика	(44) БР, (70)К (30)КЗ (при наличии дополнительно кодов 22 и 24)			(44)БР
21	Низкий уровень сигнала датчика температуры охлаждающей жидкости	Замыкание внутри датчика	–	(45)БС	(45)БС и (69)З	–
22	Высокий уровень сигнала датчика температуры охлаждающей жидкости	Отсутствие подключения розетки к датчику или внутренний обрыв датчика	(45)БС, (69)З (30)КЗ (при наличии дополнительно кодов 18 и 4)	–	–	(45)БС
23	Низкий уровень сигнала датчика положения дроссельной заслонки	Обрыв или замыкание внутри датчика	(53)З, 12(БЖ)	(53)З, (12)БЖ	(53)З и (68)Г	–
24	Высокий уровень сигнала датчика положения дроссельной заслонки	Замыкание внутри датчика	(68)Г (30)КЗ (при наличии дополнительно кодов 18 и 22)	–	(53)З и (12)БЖ	[illegible] или [illegible]
13	Низкий уровень сигнала датчика массового расхода воздуха	Обрыв платиновой нити чувствительного элемента	(57)К	(57)К, (7)ЮК	(6)БЧ и (7)ЮК или (56)Ч и (7)ЮК	–
14	Высокий уровень сигнала датчика массового расхода воздуха	Отсутствие подключения розетки к датчику (при наличии дополнительно кода 32)	(56)Ч, 6(БЧ)	–	(7)ЮК и (57)К	–
17	Низкий уровень сигнала датчика температуры воздуха	Замыкание внутри датчика	–	(44)БР	44(БР) и (70)К	–
18	Высокий уровень сигнала датчика температуры воздуха	Отсутствие подключения розетки к датчику или внутренний обрыв датчика	(44) БР, (70)К (30)КЗ (при наличии дополнительно кодов 22 и 24)	–	–	(44)БР
21	Низкий уровень сигнала датчика температуры охлаждающей жидкости	Замыкание внутри датчика	–	(45)БС	(45)БС и (69)З	–
22	Высокий уровень сигнала датчика температуры охлаждающей жидкости	Отсутствие подключения розетки к датчику или внутренний обрыв датчика	(45)БС, (69)З (30)КЗ (при наличии дополнительно кодов 18 и 4)	–	–	(45)БС
23	Низкий уровень сигнала датчика положения дроссельной заслонки	Обрыв или замыкание внутри датчика	(53)З, 12(БЖ)	(53)З, (12)БЖ	(53)З и (68)Г	–
24	Высокий уровень сигнала датчика положения дроссельной заслонки	Замыкание внутри датчика	[illegible] (30)КЗ (при наличии дополнительно кодов 18 и [illegible])	–	(53)З и (12)БЖ	[illegible] или [illegible]
54	Неисправность датчика положения распределительного вала	Отсутствие подключения розетки к датчику или замыкание внутри датчика между контактами "2" и "3"	(37)ЗО, 38 (обрыв экрана)	(6)Р	(37)ЗО и (6)Р	–
61	[illegible] ЭБУ	Повышенный уровень помех в бортсети из-за неисправностей в СЗ, СЛД, СУ, ПУС	–	–	–	–
62	Разрушение информации в ОЗУ ЭБУ	Разряжена или неисправна АКБ, плохой контакт на клеммах АКБ	–	–	–	–
63	[illegible] ПЗУ ЭБУ	Нарушение надежности соединений в установочной колодке ПЗУ ЭЗ или обрыв в ПЗУ	–	–	–	–
64	Ошибка при чтении информации из ЭЗ	Неисправность внутри ЭБУ	–		–	–
65	Ошибка при записи информации в ЭЗ	Неисправность внутри ЭБУ (ЭБУ требует замены)	–	–	–	–
131	Неисправность форсунки 1 (межвитковое замыкание)	Межвитковое замыкание обмотки форсунки 1-го цилиндра	–	–	(17)Ю и (58)К	–
132	Неисправность форсунки 1 (обрыв)	Обрыв обмотки форсунки 1-го цилиндра	(17)Ю (58)К (при наличии дополнительно [illegible])	–	–	–
133	Неисправность форсунки 1 (короткое замыкание на "массу")	Замыкание обмотки форсунки 1-го цилиндра на "массу"	–	(17)О	–	–
134	Неисправность форсунки 2 (межвитковое замыкание)	Межвитковое замыкание обмотки форсунки 2-го цилиндра	–	–	(16)ГЗ и (58)К или (16)ГЗ и [illegible]	–

Таблица 19.3 (продолжение)

Код	Описание диагностического кода неисправности	Неисправность составного компонента	Причины неисправности: Обрыв или плохое соединение проводов	Замыкание проводов: на "массу"	Замыкание проводов: между собой	Замыкание проводов: на шину +12В
1	2	3	4	5	6	7
135	Неисправность форсунки 2 (обрыв)	Обрыв обмотки форсунки 2-го цилиндра	(16)РЗ (60)К (при наличии дополнительно кодов 13 и 132)	–	–	–
136	Неисправность форсунки 2 (короткое замыкание на «массу»)	Замыкание обмотки форсунки 2-го цилиндра на "массу"	–	(16)РЗ	–	–
137	Неисправность форсунки 3 (межвитковое замыкание)	Межвитковое замыкание обмотки форсунки 3-го цилиндра	–	–	(35)ХЗ и (61)К, или (35)ХЗ и (62)К, или (35)ХЗ и (60)К	–
138	Неисправность форсунки 3 (обрыв)	Обрыв обмотки форсунки 3-го цилиндра	(35)ХЗ (61)К (при наличии дополнительно кодов 13, 13[illegible] и 13[illegible])	–	–	–
139	Неисправность форсунки 3 (короткое замыкание на «массу»)	Замыкание обмотки форсунки 3-го цилиндра на "массу"	–	(35)ХЗ	–	–
141	Неисправность форсунки 4 (межвитковое замыкание)	Межвитковое замыкание обмотки форсунки 4-го цилиндра	–	–	(34)ОК и (62)К, или (34)ОК и (60)К, или (34)ОК и (61)К, или [illegible] и (62)К	–
142	Неисправность форсунки 4 (обрыв)	Обрыв обмотки форсунки 4-го цилиндра	(34)ОК (62)К (при наличии дополнительно кодов 13, 132, 135 и 137)	–	–	–
143	Неисправность форсунки 4 (короткое замыкание на "массу")	Замыкание обмотки форсунки 4-го цилиндра на "массу"	–	(34)ОК	–	–
161	Неисправность 1-ой обмотки регулятора дополнительного воздуха (межвитковое замыкание)	Межвитковое замыкание 1-ой обмотки регулятора	–	–	(4)СГ и (75)Г, (87)Г или (58)К	–
162	Неисправность 1-ой обмотки регулятора дополнительного воздуха (обрыв)	Обрыв 1-ой обмотки регулятора	(4)СГ, (58)К, (84)К	–	–	–
163	Неисправность 1-ой обмотки регулятора дополнительного воздуха (короткое замыкание на "массу")	Замыкание 1-ой обмотки регулятора на "массу"	–	(4)СГ	–	–
164	Неисправность 2-й обмотки регулятора дополнительного воздуха (межвитковое замыкание)	Межвитковое замыкание 2-й обмотки регулятора	–	–	(26)ХЧ и (75)Г, (87)Г или (58)К	–
165	Неисправность 2-й обмотки регулятора дополнительного воздуха (обрыв)	Обрыв 2-й обмотки регулятора	(26)ХЧ, (58)К, (84)К	–	–	–
166	Неисправность 2-й обмотки регулятора дополнительного воздуха (короткое замыкание на "массу")	Замыкание 2-й обмотки регулятора на "массу"	–	(26)ХЧ	–	–
167	Неисправность цепи реле электробензонасоса (короткое замыкание)	Межвитковое замыкание или замыкание обмотки реле на корпус	–	–	(3)БЗ и (77)Р или 3(БЗ) и (84)К	–
168	Неисправность цепи реле электробензонасоса (обрыв)	Обрыв обмотки реле	(3)БЗ, (77)Р	–	–	–
177	Неисправность цепи главного реле (короткое замыкание)	Межвитковое замыкание или замыкание обмотки реле на корпус	–	(46)БКч	(78)З и и (79)К и (46)БКч	–
178	Неисправность цепи главного реле (обрыв)	Обрыв обмотки реле	(46)БКч, (78)З, 79)К)	–	–	–
181	Неисправность цепи лампы диагностики (короткое замыкание)	Замыкание внутри лампы	–	–	(22)РГ и (75)Г или (22)РГ и (87)Г	–
182	Неисправность цепи лампы диагностики (обрыв)	Обрыв нити лампы	(22)РГ	–	–	–

Таблица 19.4
Нормативные значения рабочих параметров

Наименование параметра	Числовое значение
Порядок работы цилиндров двигателя	1-3-4-2
Частота вращения коленчатого вала прогретого двигателя в режиме холостого хода, мин$^{-1}$	750...850
Начальный (нерегулируемый) угол опережения зажигания, °пкв	11...17
Длительность впрыска топлива на холостом ходу двигателя, мс	3,7...4,4
Содержание CO и CH в отработавших газах при частоте вращения коленчатого вала: 750...850 мин$^{-1}$ 3100...3200 мин$^{-1}$	 0,7...0,9% CO и не более 1200 млн$^{-1}$ CH; не более 0,5% CO и 600 млн$^{-1}$ CH
Регулируемое напряжение в бортовой сети, В	13,4...14,7
Датчик положения коленчатого вала: сопротивление обмотки, Ом; зазор между датчиком и зубьями диска синхронизации	 [illegible] 1,0...1,5
Сопротивление датчика положения дроссельной заслонки, кОм: между выводами "1" и "2"; между выводами "2" и "3"	 2 от 0,7...1,4 до 2,6 при полном повороте оси дроссельной заслонки
Сопротивление датчика температуры охлаждающей жидкости при t=15...25 °С ("+" омметра подсоединяется к выводу "1" датчика), кОм	[illegible]
Сопротивление обмотки электромагнитной форсунки, Ом	15,5...16,0
Сопротивление обмотки регулятора дополнительного воздуха, Ом	10...14
Сопротивление обмотки реле 111.3747, Ом	75...95
Сопротивление обмоток катушки зажигания: первичной, Ом вторичной, кОм	 0,25...0,3 4...5
Свечи зажигания: зазор между электродами, мм сопротивление встроенного помехоподавительного резистора, кОм	 0,75...0,85 4...10
Сопротивление помехоподавительного резистора наконечника свечи зажигания, кОм	не более [illegible]
Сопротивление высоковольтных проводов, кОм: 1-го и 2-го цилиндров 3-го и 4-го цилиндров	 не более 1 не более 0,9

определяются с помощью омметра. Например, при определении замыкания провода (44)БР на "массу" (код 17) измеряют сопротивление между контактом "1" в розетке соединителя ДТВ и "массой". При наличии короткого замыкания омметр покажет нулевое значение, а при его отсутствии "бесконечность". При замыкании между собой проводов (44)БР и (70)К (код 17) омметр подсоединяют к контактам "1" и "2" в розетке соединителя ДТВ. Если показание омметра равно "бесконечности", то замыкание между проводами отсутствует. В случае предполагаемого обрыва провода (44)БР (код 18) измеряют сопротивление между контактом "1" в розетке соединителя ДТВ и контактом "44" в розетке соединителя ЭБУ. Если в проводе имеется обрыв, омметр покажет "бесконечность". Для исправного провода имеет место нулевое показание омметра;

з) при определении замыкания проводов на шину +12 В цифровой мультиметр используется в режиме вольтметра. При этом ЭБУ должен быть подключен к жгуту проводов, отрицательная клемма батареи соединена с "массой" автомобиля и включено зажигание. В случае замыкания провода (44)БР (код 18) или провода (45)БС (код 22) на шину +12 В измеряют напряжение на контактах "1" и "2" в розетке соединителя соответственно ДТВ и ДТД. Если измеренное напряжение больше 5 В, имеет место замыкание соответствующего провода на шину +12 В. При проверке замыкания провода (68)Г на шину +12 В (код 24) вольтметр подключают между контактом "2" в розетке соединителя ДПД и "массой". Если вольтметр фиксирует наличие напряжения, то в электрической цепи имеется данная неисправность.

Проявление скрытых неисправностей

По некоторым кодам неисправностей необходимо дать дополнительные пояснения, так как они могут возникать под воздействием неявных (скрытых) неисправностей:

а) причинами появления кода 53 "*Неисправность датчика положения коленчатого вала*", помимо причин, указанных ранее, может стать неисправная вторичная цепь системы зажигания, функционирование которой сопровождается повышенным уровнем помех, вызывающих сбой в работе данного датчика. К таким неисправностям относятся: зазор в свечах зажигания свыше 0,85 мм, наличие загрязнений во вторичной цепи, перегорание помехоподавительного резистора в свече зажигания или в ее наконечнике, обрыв высоковольтного провода. При накоплении ферромагнитной пыли на магнитном торце датчика может иметь место незапуск холодного двигателя зимой, при этом код 53 не индицируется;

б) появление кода 25 "*Низкий уровень напряжения в бортовой сети*" чаще всего связано с неисправностью или разряженностью аккумуляторной батареи. Если батарея исправна и заряжена, тогда необходимо проверить (см. рис. 19.2):

— разъем Х2 на надежность подключения к бортовой сети автомобиля. Для этого надо отсоединить разъем Х2 от автомобильного жгута, включить зажигание и измерить напряжение на контакте "1.1" колодки Х2 относительно "массы" (точки Б), которое должно быть равно напряжению батареи;

— провода (14)Ч и (27)ОБ на обрыв или плохое соединение;

— провода (65)К и (66)Р на замыкание с "массой";

в) код 26 "*Высокий уровень напряжения в бортовой сети*", как правило, есть следствие неисправности регулятора напряжения генераторной установки автомобиля (напряжение на клеммах аккумуляторной батареи при повышенной частоте вращения коленчатого вала двигателя более 14,7 В);

г) при появлении кода 51 "*Неисправность блока управления 1*" или кода 52 "*Неисправность блока управления 2*" окончательное заключение о техническом состоянии ЭБУ может быть сделано только по результатам углубленного диагностирования с помощью специального тестера (например, DST2). Если такой возможности нет, ЭБУ в неразобранном виде лучше отправить в специальную ремонтную мастерскую;

д) код 61 "*Несанкционированный перезапуск блока управления*" возникает тогда, когда имеет место повышенный уровень помех в бортовой сети автомобиля из-за неисправностей в работе системы зажигания, стартера, некачественного соединения с "массой" проводов и экранов системы управления, а также в результате неправильного подключения в бортовую электросеть дополнительного оборудования (например, противоугонной сигнализации);

е) код 62 "*Потеря информации в ОЗУ блока управления*" указывает на неисправность или разряженность аккумуляторной батареи или на плохой контакт в соединениях наконечников проводов на выводах батареи. Само ОЗУ выходит из строя крайне редко;

ж) код 63 "*Неисправность ПЗУ блока управления*" указывает на необходимость замены ПЗУ. Но перед заменой надо проверить — нет ли у микросхемы ПЗУ погнутых или не полностью сидящих в гнездах контактных выводов, что так же, как и наличие воды или посторонних загрязнений на микросхеме или в ее панели на ЭБУ, может стать причиной появления кода 63. Необходимо знать, что для предотвращения повреждения электронных элементов ЭБУ электростатическим разрядом при замене микросхемы ПЗУ запрещается касаться контактных штырей соединителей или элементов контактной платы блока;

з) при возникновении кода 64 "*Неисправность электронезависимой памяти блока управления (ошибки при чтении)*" или кода 65 "*Неисправность электронезависимой памяти блока управления (ошибка при записи)*" требуется замена ЭБУ;

и) некоторые неисправности в режиме самодиагностики с помощью ЭБУ не определяются, а следовательно, не индицируются кодами. Прежде всего это относится к отказу двигателя по вине системы управления, когда стартер прокручивает коленчатый вал с достаточной частотой ($n_д \geq 50...60$ мин$^{-1}$).

При этом возможны следующие неисправности:

— перегорание предохранителя FU9 в правом блоке;

— обрыв в электрической цепи от штекера "30" реле К9 до электробензонасоса М6;

— выход из строя реле К9 электробензонасоса М6 (при наличии напряжения на выводах электродвигателя бензонасоса реле К9 должно обеспечивать работу насоса в течение 3...5 с после включения зажигания);

— отказ одной (или обеих) катушек зажигания, или забрызгивание бензином свечей зажигания холодного двигателя;

к) после устранения всех обнаруженных неисправностей восстанавливают соединения в электрической схеме системы управления, если по условию проведения диагностики проводились необходимые отключения, запускают двигатель и убеждаются в отсутствии кодов неисправностей.

В заключение следует отметить, что нормальная работа электронной системы управления МИКАС определяется не только исправным состоянием ее электрических компонентов, но также рабочим состоянием механических, пневматических и гидромеханических подсистем двигателя. Поэтому — если после проведения описанных проверок и устранения всех неисправностей в комплексной системе управления МИКАС двигатель не запускается или работает неустойчиво, то не надо торопиться с повторением работ, так как не исключено, что причина кроется в нарушении герметичности цилиндро-поршневой группы, в подсосе воздуха во впускном трубопроводе, в нарушении правильной установки фаз газораспределения, в отсутствии топлива в бензобаке, в повреждении или засорении прямой бензомагистрали, в нарушении нормальной работы гидронагнетателя бензонасоса или топливного канала системы впрыска. О способах поиска последних из перечисленных неисправностей см. главу 16.

Глава двадцатая

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ

В последние годы значительно возросли требования к очистке выхлопных отработавших газов автомобиля от токсичных компонентов. Наряду с этим стали нормироваться допуски и на испаряемость бензина из бензобака [7]. Это привело к необходимости установки на современных легковых автомобилях специальных экологических систем, которые работают совместно с системой впрыска топлива.

20.1. Горючая смесь "бензин-воздух" и ее свойства

Бензин — это жидкое углеводородное топливо, основные химические компоненты которого — углерод C (84...86%) и водород H (14...16%). Эти элементы присутствуют в бензине в виде разнообразных углеводородных соединений с различным строением молекул. По признаку молекулярного строения углеводородные соединения, входящие в состав бензина, разбиваются на несколько групп:

— парафиновые углеводороды (алканы) — C_nH_{2n+2};

— нафтеновые углеводороды (цикланы) — C_nH_{2n};

— ароматические углеводороды (например, бензол — C_6H_6) — C_nH_{2n-6}, C_nH_{2n-12};

— олефиновые углеводороды (алкены) — C_nH_{2n}.

Элементарный состав молекул всех этих соединений отвечает общей формуле C_nH_m, где n — число атомов углерода в молекуле углеводорода ($5 < n < 12$), а m — четное число атомов водорода, образующих устойчивую молекулярную структуру данного углеводородного соединения ($6 < m < 26$). Таким образом бензин — это смесь большого количества углеводородов с различным размещением атомов углерода C и водорода H в молекуле C_nH_m.

Бензин, как моторное топливо, обладает хорошей испаряемостью и высокой скоростью сгорания. Распыленные частицы бензина во взвешенной смеси с атмосферным воздухом при определенных условиях образуют горючую топливовоздушную смесь (ТВ-смесь), которая легко воспламеняется от электрической искры в цилиндрах поршневого двигателя внутреннего сгорания (ДВС).

Наиболее благоприятным условием воспламенения хорошо перемешанной (гомогенной) ТВ-смеси является весовое соотношение в ней бензина и воздуха, равное 1/14,5 (для высокооктанных сортов бензина). ТВ-смесь с таким соотношением компонентов (рис. 20.1) называется стехиометрической и с точки зрения эффективности и полноты сгорания бензина является идеальной.

Качество ТВ-смеси принято оценивать коэффициентом α (альфа) избытка воздуха, который определяется, как $\alpha = M_ф/M_т$, где $M_ф$ — фактически затраченное, а $M_т$ — теоретическое необходимое количество массы воздуха для полного сгорания данной порции бензина.

Когда ТВ-смесь стехиометрическая, то $M_ф = M_т$ и коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1$. В этом случае ТВ-смесь является "нормальной". Если $M_ф > M_т$, то ТВ-смесь обогащена воздухом, но называется "бедной" ТВ-смесью, так как обеднена бензином ($\alpha > 1$). При $M_ф < M_т$ ТВ-смесь называется "богатой", так как в ней имеет место избыток бензина против теоретической нормы ($\alpha < 1$).

Любой бензиновый двигатель может устойчиво работать только в строго определенном интервале изменения качества ТВ-смеси. Для ДВС классических конструкций максимально допустимому обогащению соответствует коэффициент избытка воздуха $\alpha = 0,75$, при максимальном обеднении — $\alpha = 1,35$.

Если в цилиндры ДВС подается ТВ-смесь по компонентному составу за пределами указанного диапазона для коэффициента α ($0,75 < \alpha < 1,35$), то классический двигатель "глохнет" из-за того, что ТВ-смесь перестает воспламеняться.

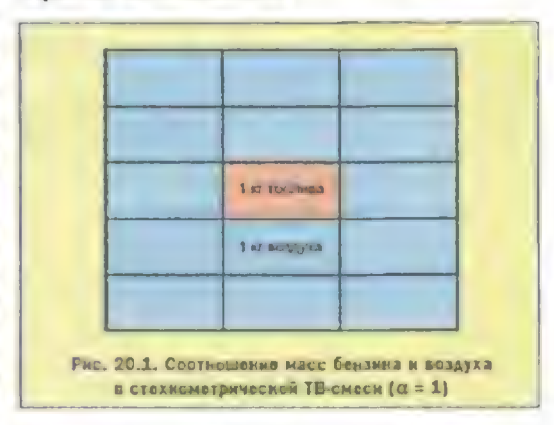


Рис. 20.1. Соотношение масс бензина и воздуха в стехиометрической ТВ-смеси ($\alpha = 1$)

В указанном диапазоне коэффициент избытка воздуха оказывает решающее влияние на эксплуатационные показатели работы ДВС. На рис. 20.2 приведены зависимости основных параметров поршневого двигателя от изменения коэффициента избытка воздуха α в бензиновой ТВ-смеси.

При допустимом обогащении ТВ-смеси (0,75 < α < 1,0) имеет место неизбежное повышение удельного эффективного расхода топлива (кривая "Ве"), а также увеличивается выброс токсичных веществ — угарного газа СО и несгоревших углеводородов СН — с отработавшими газами. При α = 0,9 мощность "Р" и крутящий момент "М" двигателя максимальны.

При умеренном обеднении ТВ-смеси (1,0 < α < 1,15) мощность "Р" двигателя заметно падает, но зато расход топлива уменьшается и при α = 1,05 становится минимальным. При этом состав токсичных веществ в выхлопных газах видоизменяется: количество компонентов СО и СН становится минимальным,

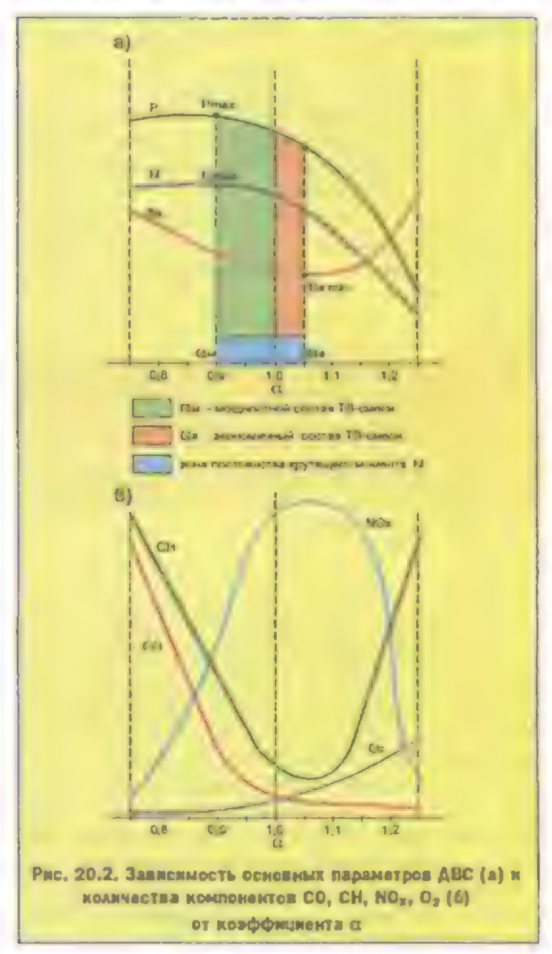


Рис. 20.2. Зависимость основных параметров ДВС (а) и количества компонентов СО, СН, NO_x, O_2 (б) от коэффициента α

но заметно увеличивается выброс оксидов NO_X азота. При более глубоком обеднении ТВ-смеси (α > 1,15) мощность "Р" и крутящий момент "М" резко падают, а расход топлива снова начинает возрастать. Вместе с этим начинает возрастать выброс несгоревших углеводородов СН, но концентрация оксидов NO_X азота сокращается.

Газовая смесь, образовавшаяся в цилиндре ДВС после завершения реакции горения, включает в себя наряду с отходными продуктами химически пассивный, но сильно разогретый атмосферный азот N_2. Смесь разогретого азота с газообразными продуктами сгорания представляет собой рабочее тело, интенсивное тепловое расширение которого совершает работу по полезному перемещению поршня в такте "рабочий ход". Энергия, отданная рабочим телом поршню, наряду с многими факторами, зависит также и от качественного состава сгоревшей ТВ-смеси. Это отчетливо проявляется по зависимости крутящего момента "М" и мощности "Р" двигателя от коэффициента избытка воздуха α.

20.2. Токсичные вещества, попадающие в окружающую среду при работе автомобиля

Продуктами полного сгорания стехиометрической ТВ-смеси являются двуокись (диоксид) углерода CO_2 и пары воды H_2O. Эти вещества не токсичны. Однако в цилиндрах реального двигателя внутреннего сгорания даже при абсолютно незначительном обогащении или обеднении ТВ-смеси (0,98 ≤ α ≤ 1,02) полного сгорания топлива не происходит. При неполном сгорании бензина в цилиндрах ДВС появляются остатки не вступивших в реакцию горения углеводородов C_nH_m и не полностью (частично) выгоревшие углеводороды (альдегиды — C_nH_m • СНО; кетоны — C_nH_m • СО; карболовая кислота — C_nH_m • СООН). Помимо этого при неполном сгорании имеют место процессы термического разложения реагентов горения в результате чего в отработавших газах появляются ацетилен (C_2H_4), водород (H_2) и моноокись углерода (угарный газ СО).

Однако детального анализа отработавших газов по молекулярным структурам обычно не требуется. Общий показатель количества не вступивших в химическую реакцию горения углеводородов оценивают по компоненту СН* (см. рис. 20.2, б).

Помимо основных продуктов сгорания углеводородного топлива в цилиндрах ДВС образуются побочные продукты, которые являются следствием наличия в ТВ-смеси большого количества атмосферного

* *СН — радикал углеводородного соединения, условно обозначающий совокупность различных углеводородов, оставшихся в камере сгорания ДВС после завершения реакций горения; в свободном виде из химической реакции не выделяется.*

азота, а в бензине — антидетонационных присадок и различных минеральных вещества.

Вступая в высокотемпературную химическую реакцию с кислородом, азот под высоким давлением окисляется до NO и NO_2 и образует оксиды азота NO_X (см. рис. 20.2, б). Наиболее распространенными антидетонационными присадками являются соединения свинца, а из минеральных загрязнителей — минеральные масла и сера.

Все вышеперечисленные химические вещества и соединения при работе ДВС выбрасываются в окружающую среду из трубы автомобильного глушителя в виде отработавших газов.

Отработавшие газы (ОГ) на 95...98% по объему состоят из безвредных веществ (азота N_2, кислорода O_2, водяных паров H_2O, диоксида углерода CO_2), а на 2...5% — из токсичных химических соединений. Из последних наиболее опасны для здоровья человека и животных, а также для растений оксид углерода (угарный газ CO), оксиды азота NO_X, не полностью сгоревшие углеводороды CH и твердые частицы (зола и сажа).

Наряду с перечисленными токсичными веществами, которые входят в состав выхлопных отработавших газов, в окружающую среду попадают и другие токсиногены* — пары бензина, картерные газы, протечки автомобильных масел и других технических жидкостей.

Автомобильные токсиногены проявляют себя по-разному. Оксид углерода CO (угарный газ) — это газ без цвета, без вкуса и запаха, никак не воздействующий на органы чувств человека. Но при объемной концентрации CO в воздухе более 0,3% может наступить быстрое угарное отравление (за 20...30 мин) с летальным исходом.

Работа автомобильного двигателя в закрытом помещении без специальной вытяжной вентиляции (например, в боксовом гараже) крайне опасна для человека, находящегося в этом помещении или в автомобиле.

На свободном воздухе угарный газ быстро доокисляется до безвредной двуокиси углерода CO_2. При этом в больших городах, где число автомобилей значительно, образуется городской технический смог с пониженной концентрацией кислорода и с повышенной концентрацией двуокиси углерода. Летом возникает парниковый эффект.

Оксид азота NO — газ, по физическим свойствам сходный с угарным газом (без цвета, без вкуса и запаха), но активным токсичным воздействием на человека не обладает. Однако при доокислении в атмосфере образуется токсичная двуокись азота NO_2 — слезоточивый газ буро-коричневого цвета с резким запахом. Токсичное действие диоксида азота проявляется в воспалительном воздействии на слизистую оболочку глаз, носа, гортани. При длительном воздействии этот компонент ОГ вызывает тошноту и рвоту. Иногда развивается аллергия на запахи выхлопных газов. При соприкосновении с водой двуокись NO_2 образует азотную кислоту HNO_3 на поверхности почвы, что неблагоприятно воздействует на зеленые растения и на экологию городских стоков.

Остатки углеводорода CH в отработавших выхлопных газах обнаруживаются как в жидком, так и в газообразном состоянии. При воздействии солнечных лучей из разложившихся углеводородов и паров бензина образуются активные окислительные соединения. А не полностью сгоревшие жидкие углеводороды, попадая в почву, образуют канцерогенные вещества.

Твердые частицы в ОГ, зола и сажа, попадая в дыхательные пути человека, вызывают удушье. В городах они загрязняют улицы, листву деревьев, окна и стены домов. Ухудшают экологию городских рек.

Картерные газы попадают в атмосферу в основном в составе отработавших газов и несут в себе большое количество частиц перегоревшего моторного масла, которые также являются токсичными компонентами в выхлопе автомобиля.

Соотношения токсичных отходов (автомобильных токсиногенов), попадающих в окружающую среду при эксплуатации легкового автомобиля, приведены в таблице 20.1.

Таблица 20.1

№	"Поставщики" токсичных отходов	[illegible] без СЭЗ	[illegible] с СЭЗ
1	Отработавшие газы	60%	98%
2	Бензиновые испарения	15%	1%
3	Картерные газы	20%	0,5
4	Протечки технических жидкостей и прочие загрязнители	5%	0,5

Из таблицы видно, что если на автомобилях прежних конструкций (без средств экологической защиты — СЭЗ) отработавшие газы составляют чуть больше половины (60%) от общего количества автомобильных отходов, а 40% приходится на прочие токсиногены, то на современных автомобилях, оборудованных СЭЗ, на прочие отходы приходится всего 2%, а главным загрязнителем окружающей среды являются выхлопные отработавшие газы. И хотя в отработавших газах современных двигателей процентное содержание токсичных веществ значительно сокращено (с 5 до 1%), проблема нейтрализации токсичных соединений в выхлопе автомобиля по-прежнему остается нерешенной.

* *Токсиногены — ядовитые химические соединения технического происхождения, вредные промышленные отходы.*

20.3. Закономерности молекулярных превращений при выжигании бензина в камере сгорания ДВС

Камера сгорания автомобильного ДВС с точки зрения происходящих в ней молекулярных превращений является своеобразным высокотемпературным химическим реактором. Так, при выжигании стехиометрической ТВ-смеси ($\alpha = 1$) здесь происходит полное окисление сразу нескольких углеводородных соединений:

$$\left.\begin{array}{l} — C_5H_{12}(C_nH_{2n+2}) + 8O_2 = 6H_2O + 5CO_2 \\ \quad \text{(окисление пентана);} \\ — C_6H_{12}(C_nH_{2n}) + 9O_2 = 6H_2O + 6CO_2 \\ \quad \text{(окисление олефина);} \\ — C_7H_{12}(C_nH_{2n-2}) + 10O_2 = 6H_2O + 7CO_2 \\ \quad \text{(окисление нафтена);} \\ — C_6H_6(C_nH_{2n-6}) + 7O_2 = 2H_2O + 6CO_2 + H_2 \\ \quad \text{(окисление бензола);} \\ — C_8H_{18}(C_nH_{2n+2}) + 12O_2 = 8H_2O + 8CO_2 + H_2 \\ \quad \text{(окисление октана)} \end{array}\right\} \quad (20.1)$$

В левой части системы химических уравнений 20.1 — совокупность (смесь) различных углеводородов C_nH_m, составляющих исходное моторное топливо — бензин, а в правой — продукты химической реакции окисления (полного сгорания) — вода H_2O, углекислый газ CO_2 и незначительное количество водорода H_2. Продукты полного сгорания не токсичны.

Именно это обстоятельство заставляет автомобилестроителей создавать системы топливного питания, которые работают с коэффициентом α, близким к единице. Стационарным двигателям такая система топливного питания обеспечивает оптимальные экологические параметры.

При выжигании обогащенной ТВ-смеси ($0{,}95 < \alpha < 1$) имеет место дефицит кислорода и в камерах сгорания ДВС происходят уже иные, химические реакции. Покажем это на примере выжигания только одного углеводородного соединения — пентана:

$$C_5H_{12} + 4O_2 = 5H_2O + 3CO + 2CH, \quad (20.2)$$

Как видно из формулы, в продуктах сгорания пентана (компонент бензина) при дефиците кислорода появляются угарный газ CO и неустойчивый углеводородный радикал CH, быстро переходящий в устойчивое химическое соединение C_2H_2 (ацетилен). Аналогичные продукты образуются при выжигании и других углеводородов. Общим является то, что при недостатке кислорода сгорание бензина в цилиндрах ДВС сопровождается образованием в отработавших газах токсичных компонентов (CO и CH).

Химическая реакция горения в случае выжигания в цилиндрах ДВС бедных смесей имеет ту специфику, что протекает быстро, сопровождаясь заметным повышением температуры и давления. Как следствие, сильно разогретые кислород O_2 и азот N_2 из атмосферного воздуха вступают в химическое взаимодействие, и теперь реакция сгорания на примере того же пентана приобретает следующий вид:

$$C_5H_{12} + 12O_2 + 9N_2 = [4H_2O + CO_2] + [18NO + 4CH] \quad (20.3)$$

В первой квадратной скобке — нетоксичные, во второй — токсичные компоненты выхлопных отработавших газов.

Из формулы 20.3 следует, что при выжигании обедненной ТВ-смеси заметно увеличивается выброс оксида азота NO.

Излишки горячего кислорода тут же в камере сгорания доокисляют оксид азота NO до целого ряда* оксидов NO_X. Именно повышение температуры и давления компонентов N_2 и O_2 являются первопричиной образования побочных продуктов горения — оксидов азота NO_X.

При еще более глубоком обеднении ТВ-смеси ($\alpha > 1{,}25$) поршневой двигатель обычной (классической) конструкции начинает терять свои качества (линия $\alpha = 1{,}25$ на рис. 20.2): мощность и крутящий момент падают, а расход топлива и выброс несгоревших углеводородов CH увеличиваются. Все это является следствием того, что полное сгорание частиц бензина в бедной ТВ-смеси становится невозможным из-за их невоспламенения.

Формулы 20.1÷20.3 указывают на то, что при выжигании бензина в цилиндрах ДВС при различных значениях коэффициента α в ТВ-смеси число молекул кислорода O_2, участвующих в окислении углеводородного топлива, каждый раз разное. При этом число свободных молекул кислорода на выпуске (в выхлопных отработавших газах) всегда меньше, чем на впуске (в ТВ-смеси), и тем больше, чем выше значение коэффициента α избытка воздуха в ТВ-смеси (см. рис. 20.2, б). Это обстоятельство позволяет использовать разность концентрации кислорода на выпуске и впуске для автоматической коррекции состава ТВ-смеси под ее стехиометрическое состояние, когда $\alpha = 1$, что реализуется с помощью датчика концентрации кислорода.

Под концентрацией $n_к$ кислорода понимается число свободных его молекул (O_2) в единице объема. Тогда $n_к = p_к/кT$, где к — физическая постоянная (константа Больцмана), $T = t° + 273$ — абсолютная температура (в градусах Кельвина), $p_к$ — парциальное давление кислорода.

В общем случае парциальное давление равно давлению одного из компонентов газовой смеси, если в объеме, занятом газовой смесью, этот компонент остался бы один. Общее давление компонентов газовой смеси равно сумме их парциальных давлений.

** В справочной литературе (см., например [7]) компонент NO называется оксидом азота (оксид — в единственном числе), а компоненты NO_X — оксидами азота (оксиды — множественное число). В данной главе сохраняется такая же терминология.*

Например, атмосферное давление в окружающей среде в основном складывается из парциальных давлений двух главных компонентов атмосферы — кислорода O_2 и азота N_2. Так как концентрация кислорода в атмосфере составляет около 21%, то его парциальное давление на впуске в ДВС приблизительно равно 0,2 атм и еще меньше — на выпуске, где оно варьирует под воздействием изменения коэффициента α. Таким образом обнаруживается однозначная связь между концентрацией $n_к$ кислорода, его парциальным давлением $P_к$ и коэффициентом α.

Из всего вышесказанного о химических превращениях в камере сгорания ДВС можно сделать очень важные выводы, которые обязательно учитываются при создании конкретной системы впрыска топлива:

1. Качество ТВ-смеси, определенное по коэффициенту избытка воздуха α, оказывает решающее влияние на энергетические (мощность, крутящий момент), экономические (расход топлива) и экологические (концентрация токсичных компонентов в ОГ) показатели работы бензинового ДВС. За пределами рабочего диапазона для коэффициента α работа бензинового двигателя невозможна.

2. Работа двигателя в стационарном режиме наиболее эффективна при подаче в цилиндры стехиометрической (нормальной) ТВ-смеси (при $\alpha = 1$). При этом достигаются наилучшие экологические показатели — полное сгорание ТВ-смеси без образования токсиногенов. Для автоматической коррекции состава ТВ-смеси под значение коэффициента α, равное единице, используются датчики, чувствительные к изменению концентрации кислорода.

3. Работа автомобильного двигателя под полной нагрузкой, когда он должен развивать максимальный крутящий момент, может быть реализована подачей в цилиндры ДВС обогащенной ТВ-смеси (до $\alpha = 0{,}9$). Но при этом повышается расход топлива и увеличивается концентрация токсичных компонентов в отработавших газах (см. рис. 20.2). Работа бензиновых двигателей на чрезмерно богатых ТВ-смесях (при $\alpha < 0{,}6$) невозможна из-за перенасыщения воздуха частицами бензина, которые в этом случае не воспламеняются.

4. Значительную экономию топлива можно получить сжиганием в цилиндрах ДВС бедной ТВ-смеси. Но при $\alpha \geq 1{,}5$ обычный двигатель глохнет. Чтобы этого не происходило, ТВ-смесь в современных двигателях тщательно перемешивается турбулентным вращением на впуске в цилиндры (или непосредственно в цилиндрах), применяется также послойный впрыск (см. гл. 18 и 22). Все это позволяет использовать ТВ-смесь с коэффициентом $\alpha = 1{,}6...1{,}8$. Но при работе двигателя на бедной ТВ-смеси он не в состоянии развивать максимальную мощность, и поэтому режим обеднения используется только при неполных, но зато наиболее распространенных нагрузках.

С учетом сказанного, современные системы впрыска бензина запрограммированы на работу следующим образом:

— при пуске и прогреве холодного двигателя обеспечивается обогащение ТВ-смеси (до $\alpha = 0{,}6$ в цилиндре);

— при работе прогретого двигателя на холостом ходу и на малых нагрузках ТВ-смесь поддерживается в стехиометрическом соотношении ($\alpha = 1$);

— при неполных (средних) нагрузках двигатель запитывается обедненной ТВ-смесью ($\alpha > 1$);

— на форсированных режимах и при полной нагрузке ТВ-смесь поступает в цилиндры двигателя в обогащенном состоянии (до $\alpha = 0{,}9$), образование оксидов азота NO_x при сгорании богатых смесей незначительно, так как имеет место охлаждение камеры сгорания за счет испарения излишков бензина;

— когда двигатель переходит в режим принудительного холостого хода (торможение двигателем) или развивает недопустимо высокую частоту вращения, система впрыска прекращает подачу ТВ-смеси в цилиндры до соответствующего падения оборотов двигателя.

Указанный алгоритм работы для систем впрыска с электронным управлением является наиболее распространенным, хотя возможны и другие варианты. Алгоритм совместно с программой функционирования и банком данных о базовых (исходных) параметрах "зашит" в постоянную память ЭБУ для системы впрыска. Степень обеднения или обогащения ТВ-смеси достигается соответствующим изменением количества впрыснутого бензина в предварительно измеренное или рассчитанное количество массы воздуха.

20.4. Способы понижения концентрации автомобильных токсиногенов

Современные легковые автомобили оборудуются системами экологической защиты окружающей среды в обязательном порядке.

Есть несколько способов понижения концентрации вредных веществ (токсиногенов), попадающих в атмосферу и окружающую среду при работе автомобиля.

1. Применение чистого и "сухого" (обезвоженного) бензина без антидетонационных присадок. Для реализации такого способа в ряде стран начали применять так называемые "экологически безопасные бензины" [7], а использование этилированных и низких сортов бензина было запрещено. Автомобиль, работающий на экологически безопасном бензине, оснащается электронной системой автоматического управления двигателем (ЭСАУ-Д). Эта система обеспечивает программную оптимизацию режимов работы двигателя на холостом ходу (ХХ), при пуске и прогреве холодного ДВС (ППД), на принудительном холостом ходу (ПХХ), при частичных (ЧН) и полных (ПН) на-

грузках. Для каждого из перечисленных режимов ЭСАУ-Д поддерживает наиболее выгодное значение коэффициента избытка воздуха (α), момента ($t_в$) впрыска и угла (θ) опережения зажигания. Этим достигается компромисс между тремя противоречивыми требованиями: топливной экономичностью, максимальной отдачей мощности и минимальным выбросом токсичных веществ с отработавшими газами.

2. Уменьшение токсичности отработавших газов путем воздействия на внутренние процессы в двигателе. Способ может быть реализован в трех вариантах исполнения:

а) управлением системой впрыска топлива по цепи обратной связи от кислородного датчика, при этом понижается концентрация токсичных компонентов СО и СН;

б) возвратом (рециркуляцией) части отработавших газов обратно в цилиндры двигателя из выпускного коллектора, чем достигается понижение концентрации NO_X и некоторая экономия топлива;

в) совместным использованием двух экологических систем (по вариантам "а" и "б") одновременно.

3. Нейтрализация токсичных компонентов отработавших газов в выпускном тракте после их эвакуации из цилиндров. Этот способ может быть реализован в четырех исполнениях:

а) термической нейтрализацией, при которой отработавшие газы дожигаются в высокотемпературном глушителе при температуре 600...800°С и при интенсивной подаче в него дополнительного воздуха. Такой глушитель называется термическим газонейтрализатором (ТГН). В ТГН выгорают компоненты СО и СН, и поэтому он относится к двухкомпонентным газонейтрализаторам. ТГН требует применения высоконадежной системы зажигания, так как в нем при пропусках зажигания может скапливаться большое количество бензина, что неизбежно приводит к разрушению нейтрализатора и труб глушителя;.

б) окислительной нейтрализацией, при которой имеет место дожигание отработавших газов при относительно невысокой температуре (250...600°С) в присутствии катализатора из благородных металлов (платина, палладий, родий). Устройство, реализующее окислительную нейтрализацию называется окислительным газонейтрализатором (ОГН). ОГН, как и ТГН, относится к двухкомпонентным нейтрализаторам (по СО и СН) и так же, как и ТГН, устанавливается в выпускном тракте сразу за выпускным коллектором;

в) восстановительной нейтрализацией. В данном случае в каталитическом нейтрализаторе протекают химические реакции восстановления безвредных веществ (N_2, CO_2) из токсичных компонентов (NO_X, СО). Газонейтрализатор, в котором протекают восстановительные химические реакции, называется каталитическим нейтрализатором с восстановительной средой, или восстановительным газонейтрализатором (*ВГН*). ВГН относится к однокомпонентным нейтрализаторам, так как в нем происходит в основном нейтрализация оксидов азота NO_X, восстановительной средой для которых является угарный газ или водород;

г) комбинированной нейтрализацией сразу всех трех токсичных компонентов (СО, СН, NO_X). Нейтрализация происходит в двух последовательно включенных друг за другом каталитических газонейтрализаторах, первый из которых восстановительный (ВГН), а второй — окислительный (ОГН). Комбинация этих двух нейтрализаторов в одном общем корпусе представляет собой двухсекционный комбинированный газонейтрализатор (КГН), в который в некоторых случаях необходимо подавать дополнительный воздух между двумя секциями. КГН может эффективно работать только при выжигании в цилиндрах двигателя обогащенной ТВ-смеси (α = 0,9). Ясно, что при этом в угоду требованиям экологии имеет место дополнительный расход бензина.

Если комбинированный трехкомпонентный газонейтрализатор (КГН) дооборудовать одним измерительным кислородным датчиком на входе, а другим (датчиком сравнения) на выходе и подключить эти датчики к электронной схеме управления впрыском (рис. 20.3), то экологическая система станет настолько эффективной, что выхлоп всех трех токсичных компонентов значительно сократится (для СО до 7%, для СН до 15%, для NO_X до 20%) по сравнению с концентрацией на входе КГН. Двигатель внутреннего сгорания при такой нейтрализации устойчиво работает только на частичных нагрузках и только в так называемом "окне экологической безопасности" ($0,99 \le \alpha \le 1,01$), т.е. практически на стехиометрической ТВ-смеси при $\alpha \cong 1$ (рис. 20.4). В настоящее время экологическая система с двумя кислородными датчиками считается наиболее совершенной.

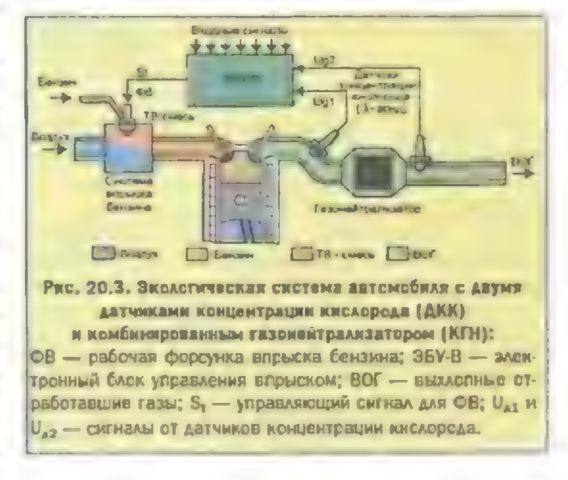


Рис. 20.3. Экологическая система автомобиля с двумя датчиками концентрации кислорода (ДКК) и комбинированным газонейтрализатором (КГН):
ФВ — рабочая форсунка впрыска бензина; ЭБУ-В — электронный блок управления впрыском; ВОГ — выхлопные отработавшие газы; S_1 — управляющий сигнал для ФВ; $U_{д1}$ и $U_{д2}$ — сигналы от датчиков концентрации кислорода.

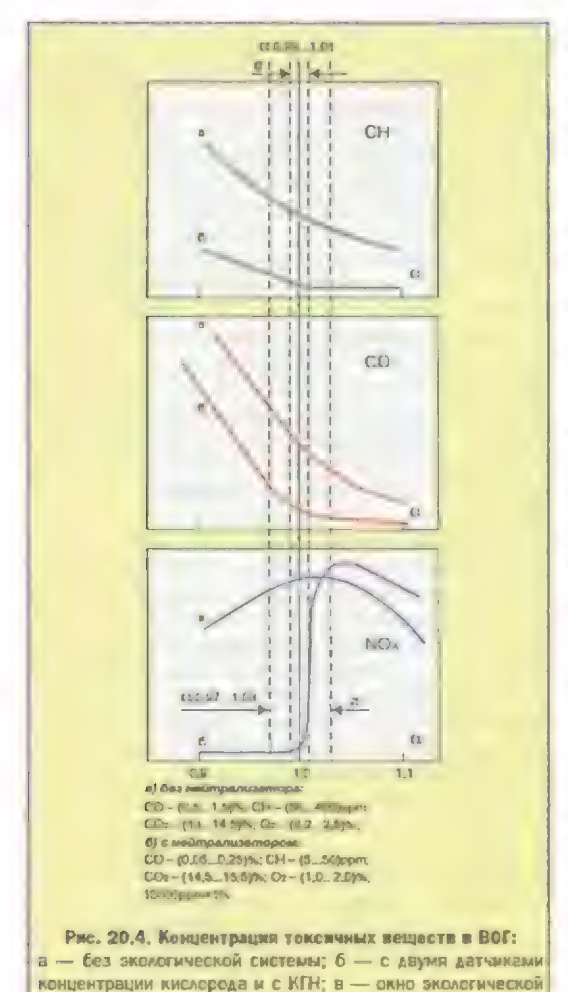


Рис. 20.4. Концентрация токсичных веществ в ВОГ:
а — без экологической системы; б — с двумя датчиками концентрации кислорода и с КГН; в — окно экологической безопасности ($0,99 \le \alpha \le 1,01$); г — диапазон регулирования ($0,97 \le \alpha \le 1,03$) с одним датчиком концентрации кислорода.

Однако большинство современных автомобильных бензиновых двигателей не могут работать без обогащения ТВ-смеси в таких штатных режимах, как пуск и прогрев холодного двигателя ($\alpha = 0,6$), и в форсированных режимах (разгон, движение на подъем, полная нагрузка, $\alpha = 0,9$). С другой стороны современный двигатель должен быть экономичным, что достигается его работой на бедных смесях ($\alpha = 1,35$). Таким образом, современный бензиновый двигатель должен работать в исключительно широком диапазоне изменения качества ТВ-смеси, что вступает в противоречие с требованиями по экологии. Так появилась необходимость в разработке широкополосного кислородного датчика [7], способного вырабатывать сигнал обратной связи для системы впрыска топлива с программным управлением при любом рабочем значении коэффициента избытка воздуха ($0,7 \le \alpha \le 1,5$) и тем самым формировать широкое экологическое окно. Широкополосный кислородный датчик совместно с трехмерной характеристикой впрыска, заложенной в ЭБУ, обеспечивает наиболее эффективное и оптимальное соотношение бензин/воздух при любых рабочих значениях коэффициента α.

Но даже экологическая система с широкополосным датчиком может оказаться совершенно непригодной для работы совместно с высокоэкономичным двигателем следующего поколения, который, как полагают разработчики, должен будет эффективно функционировать на ТВ-смесях с коэффициентом $\alpha > 1,7$. При таком коэффициенте избытка воздуха кислородный датчик не нужен (он перестает функционировать) и основной проблемой при построении экологической системы будет разработка такого нейтрализатора, который способен восстанавливать оксиды азота в отсутствие излишков угарного газа и водорода (без восстановительной среды). Поисковые работы в этом направлении еще не завершены.

20.5. Нейтрализация паров бензина и картерных газов

Уже отмечалось, что наряду с токсичными веществами, которые входят в состав отработавших газов, автомобиль загрязняет окружающую среду парами бензина и картерными газами.

Пары бензина попадают в атмосферу при испарении из бензобака и из-за неплотных сочленений в системе топливоподачи. Картерные газы выбрасываются в окружающую среду вместе с выхлопными газами.

Для предотвращения прямого попадания в атмосферу паров бензина и картерных газов бензобак и бензомагистрали, а также масляный картер надежно уплотнены и герметизированы. Для связи бензобака с атмосферой его горловина и герметичная пробка снабжены перепускными пневмоклапанами (см. рис. 15.4).

На рис. 20.5 показана схема экологической системы утилизации паров бензина для двигателей, оборудованных электронным управлением от ЭБУ. Испарение бензина значительно увеличивается при температуре выше 25°С, а герметичный бензобак оказывается под излишним внутренним давлением Рп. Под напором внутреннего давления пары бензина перепускаются по соединительному шлангу 17 в замкнутый объем угольного фильтра 16, где адсорбируются на гигроскопичных гранулах активированного угля 14. Активированный уголь обладает свойством легко накапливать в своих порах бензин и так же легко отдавать его в поток 18 продувочного воздуха.

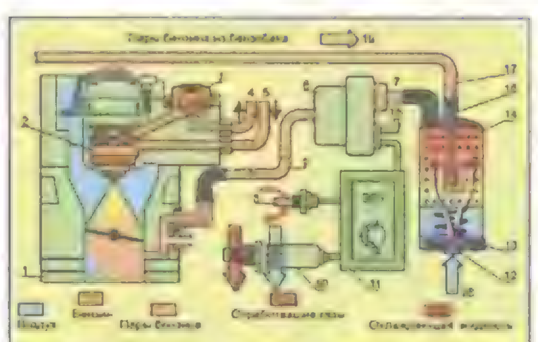


Рис. 20.5. Подсистема утилизации паров бензина из бензобака в системе "Mono-Motronic":
1 — центральный впрыскивающий узел (ЦВУ); 2 — центральная форсунка впрыска; 3 — регулятор давления; 4 — обратный бензопровод; 5 — прямая бензомагистраль; 6 — запорный клапан; 7 — соединительный шланг; 8 — датчик температуры ДВС (ДТД); 9 — соединительный шланг; 10 — датчик концентрации кислорода (ДКК); 11 — ЭБУ (контроллер); 12 — входной воздушный штуцер; 13 — корпус угольного фильтра; 14 — гранулы активированного угля; 15 — провод (электроконтакт) +12 В; 16 — угольный фильтр; 17 — соединительный шланг от бензобака; 18 — поток воздуха; 19 — пары бензина под давлением Рд.

Поток продувочного воздуха (через угольный фильтр) формируется поршневым всасыванием при работе двигателя. Для этой цели воздушный шланг от входного штуцера 12 на угольном фильтре подведен к специальному штуцеру на воздушном фильтре. Перепускать пары бензина во впускной коллектор сразу после запуска двигателя нерационально, так как при пуске и прогреве ТВ-смесь обогащается по специальной программе, заложенной в памяти электронного блока управления (ЭБУ) впрыском. Поэтому в разрыв воздушного соединительного шланга 7 между угольным фильтром и двигателем устанавливается запорный пневмоклапан (ЗПК) 6 с электрическим управлением от ЭБУ 11. Этот клапан открывается только после прогрева и при таком режиме работы двигателя, при котором требуется обогащенная ТВ-смесь (например, при разгоне и полной нагрузке).

Если концентрация паров бензина в продувочном потоке воздуха через угольный фильтр составляет 1%, то обогащение ТВ-смеси во впускном коллекторе увеличивается на 20%. Чтобы не происходило более значительного обогащения, клапан ЗПК работает в тактовом режиме от импульсного сигнала ЭБУ. Программа управления тактовым клапаном ЗПК заложена в ЭБУ впрыска и обычно адаптирована под температуру $T_д$ двигателя (датчик 8) и концентрацию кислорода в выхлопных отработавших газах (датчик 10).

Нейтрализация картерных газов, концентрация токсичных химических соединений в которых значительно выше концентрации в отработавших газах, на современных двигателях реализуется с помощью подсистемы вентиляции картера. По специальному соединительному шлангу картерные газы подаются в воздушный фильтр и всасываются вместе с атмосферным воздухом в цилиндры ДВС. После выгорания в цилиндрах двигателя картерные газы вместе с отработавшими газами выпускаются в атмосферу через глушительную систему, предварительно пройдя нейтрализацию в КЛН.

20.6. Экологическая система автомобиля с кислородным датчиком (система ЭСК)

Система ЭСК предназначена для работы с электронным карбюратором либо в составе любой системы впрыска топлива, где она корректирует состав ТВ-смеси при изменении процентного содержания кислорода в выхлопных отработавших газах. При этом в систему топливного питания добавляются:

1) кислородный датчик* (КД), установленный в выпускном канале ДВС в потоке отработавших газов (ОГ);

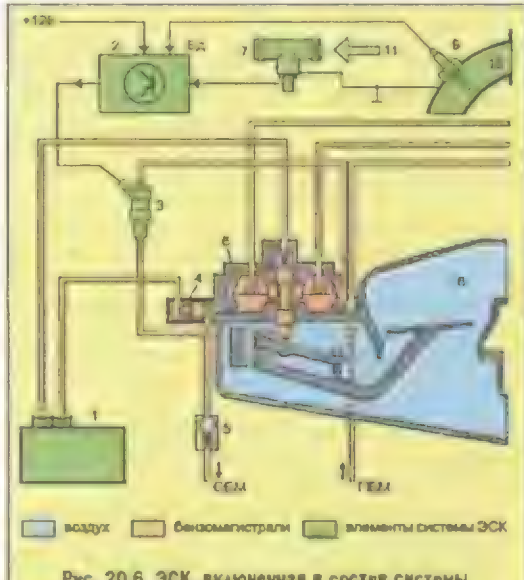


Рис. 20.6. ЭСК, включенная в состав системы "K-Jetronic":
1 — регулятор управляющего давления; 2 — электронный авторегулятор (блок РЭС); 3 — тактовый электробензоклапан (ТЭК); 4 — клапан обратного давления; 5 — обратная бензомагистраль (ОБМ) с редукционным (стравливающим) клапаном; 6 — дозатор-распределитель топлива; 7 — термовыключатель (ТВК); 8 — расходомер воздуха; 9 — датчик концентрации кислорода (ДКК); 10 — выпускной коллектор; 11 — охлаждающая жидкость ДВС; ПБМ — прямая бензомагистраль.

* *Кислородный датчик в зарубежной технической литературе называется лямда-зондом и обозначается как λ-зонд.*

2) авторегулятор (блок РЭС), выполненный в виде электронной схемы, помещенной в корпус обычного реле или интегрированной в ЭБУ системы впрыска;

3) тактовый электробензоклапан (ТЭК), установленный между топливоподающей и обратной бензомагистралями и работающей по импульсным сигналам от блока RЭС;

4) термовыключатель (ТВК), установленный в системе жидкостного охлаждения ДВС (только для механических систем впрыска), или датчик температуры ДВС (для систем впрыска с электронным управлением).

• Функциональная схема экологической системы ЭСК, которая включена в состав системы впрыска "K-Jetronic", показана на рис. 20.6. Такая система работает следующим образом.

Пока двигатель холодный, термовыключатель ТВК 7 разомкнут и система ЭСК не функционирует. Система впрыска в это время работает без коррекции состава ТВ-смеси по содержанию кислорода в ОГ, т.е. в обычном режиме обогащения ТВ-смеси для холодного двигателя.

После прогрева ДВС до определенной температуры (55...60°С) термовыключатель замыкается, и напряжение от бортсети автомобиля (по "массе") подается на авторегулятор RЭС 2. С этого момента авторегулятор RЭС начинает реагировать на сигналы кислородного датчика 9, который к этому времени сам прогревается до рабочей температуры +300°С, так как установлен в выпускном коллекторе 10. Электронная схема авторегулятора (блок RЭС 2) представляет собой генератор электрических импульсов с постоянной длительностью, но с управляемой частотой следования. Частота следования управляется аналоговым сигналом от кислородного датчика КД 9. В RЭС сигнал предварительно обрабатывается и преобразуется с помощью пороговой электрической схемы в последовательность импульсов для управления тактовым электробензоклапаном ТЭК 3.

Таким образом концентрация кислорода в ОГ определяет периодичность следования импульсов, поступающих на тактовый клапан 3 от RЭС 2. Когда на тактовый клапан поступает электрический импульс, он открывается. При отсутствии импульсов тактовый клапан закрыт.

При открытии тактового клапана рабочее давление в главной топливной магистали дозатора-распределителя 6 падает и топливовоздушная смесь обогащается, так как мембрана дифференциального клапана в дозаторе-распределителе больше прогибается вниз и топлива к форсункам поступает больше. Если тактовый клапан закрывается, то мембрана дифференциального клапана больше прогибается вверх и смесь обедняется.

Система ЭСК регулирует коэффициент избытка воздуха α таким образом, чтобы он все время был близким к единице. Как следствие, концентрация окиси углерода СО и углеводородов СН в ОГ поддерживается на низком уровне. Однако ЭСК не позволяет понизить концентрацию оксидов азота NO_x, так как они образуются под большим давлением (особенно под действием высокой температуры) и мало влияют на концентрацию кислорода в ОГ.

В тех случаях, когда применяется этилированный бензин, система ЭСК может быстро выйти из строя за счет оседания тяжелых соединений свинца на наружной платиновой поверхности кислородного датчика. Чувствительность активного катализатора из благородного металла резко падает. Датчик при этом перестает функционировать. Чтобы этого не происходило, кислородный датчик заменяется пробкой-заглушкой, а остальные компоненты системы ЭСК остаются на автомобиле. Система без кислородного датчика продолжает функционировать, но уже не в режиме регулирования частоты срабатывания тактового клапана, а в режиме подачи на него последовательности импульсов с постоянной скважностью 0,5. При этом 50% времени тактовый клапан открыт, а 50% закрыт. Частота следования импульсов достаточно высокая (50...60 Гц) для того, чтобы в главной топливной магистрали рабочее давление не успевало изменяться от импульса к импульсу. При этом рабочее давление с помощью клапанов 4 и 5 устанавливается на таком среднем уровне, при котором состав рабочей смеси может регулироваться обычным способом (штатными режимами работы системы впрыска).

Если автомобиль переведен обратно на эксплуатацию с неэтилированным бензином, то система ЭСК может быть быстро приведена в действие путем установки кислородного датчика вместо пробки-заглушки и его подключением к блоку RЭС.

20.7. Экологическая система автомобиля с рециркуляцией отработавших газов (система ЭСР)

Система ЭСР (в зарубежной литературе — система EGR) относится к таким системам, в которых имеет место воздействие на процесс горения ТВ-смеси в камере сгорания с целью понижения токсичности отработавших газов (ОГ).

Система ЭСР работает по принципу понижения температуры в цилиндре на режимах средних (самых распространенных) нагрузок ДВС. При этом интенсивность образования оксидов азота NO_x значительно понижается.

Понижение температуры горения в цилиндре достигается путем введения в него части ОГ из выпускного коллектора через впускной коллектор, т.е. путем рециркуляции продуктов горения. Так как ТВ-смесь при этом разбавляется пассивными выхлопными газами, то ра-

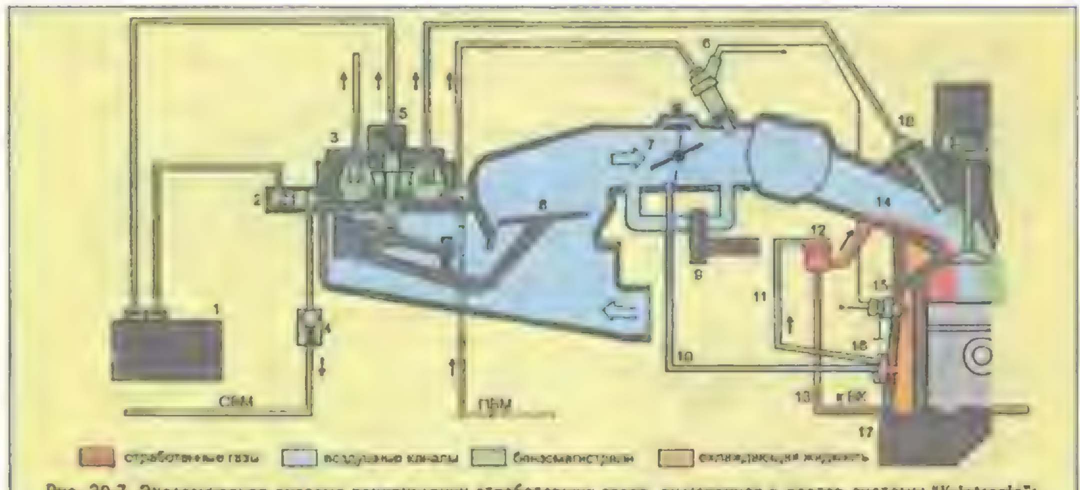


Рис. 20.7. Экологическая система рециркуляции отработавших газов, включенная в состав системы "K-Jetronic": 1 — регулятор управляющего давления; 2 — обратный клапан; 3 — дозатор-распределитель; 4 — стравливающий (редукционный) клапан; 5 — поршне-целевой вентиль; 6 — ротаметр расходомера воздуха; 7 — дроссельная заслонка; 8 — пусковая форсунка; 9 — клапан дополнительной подачи воздуха; 10 и 11 — вакуумные каналы к клапану рециркуляции ОГ; 12 — клапан рециркуляции (КР); 13 — канал для подачи в систему ЭСР выхлопных отработавших газов из выпускного коллектора (ВК); 14 — преддроссельная зона впускного коллектора; 15 — термореле времени (ТРВ) для пусковой форсунки 8; 16 — термопневмоклапан (ТПК) управления системой ЭСР; 17 — блок цилиндров; 18 — рабочая форсунка.

бочее соотношение "бензин-воздух" в смеси остается неизменным, но температура горения понижается.

Для реализации системы ЭСР в систему впрыска бензина добавляются следующие устройства:

1) клапан КР рециркуляции отработавших газов с управлением от разрежения в близкой преддроссельной зоне впускного коллектора (в системах группы "К"), либо с управлением от ЭБУ впрыска (в системах группы "L");

2) термопневмоклапан ТПК (в системах группы "К"), или датчик температуры двигателя (в системах группы "L") которые устанавливаются в потоке охлаждающей жидкости ДВС и разрешают работу клапана рециркуляции после прогрева двигателя.

На рис. 20.7 представлена функциональная схема экологической системы с рециркуляцией, которой оснащена система "K-Jetronic". На рис. 20.8 показаны основные элементы этой системы. Система ЭСР работает следующим образом.

При температуре охлаждающей жидкости ДВС ниже 45°C термопневмоклапан (поз. ТПК16 на рис. 20.7 и поз. ТПК на рис. 20.8, а) закрыт, и рециркуляция не имеет места, так как пневматический канал 3 к клапану рециркуляции (КР) перекрыт. При температуре выше 60°C клапан ТПК открывается за счет прогиба биметаллической диафрагмы 9 (рис. 20.8, поз. г) в сторону охлаждающей жидкости 10, и с этого момента разрешается работа клапана рециркуляции КР. Таким образом, как и в системе ЭСК, работа системы ЭСР начинается после прогрева ДВС.

Система рециркуляции ЭСР в системах впрыска группы "К" работает только на режимах частичных нагрузок. Как видно из рис. 20.8а, это имеет место потому, что вакуумный канал 2 клапана рециркуляции КР выведен не в задроссельную, а в ближнюю, преддроссельную зону впускного коллектора (чуть выше края дроссельной заслонки 1). При таком положении вакуумного канала 2 дроссельная заслонка может управлять степенью разрежения в клапане рециркуляции КР только в начале своего открытия, когда разрежение в канале 3 достаточно высокое. Когда дроссельная заслонка закрыта (рис. 20.8, а — режим ХХ), канал 2 к клапану рециркуляции находится в зоне атмосферного давления и клапан КР тоже закрыт. При всех остальных (после ХХ) режимах работы ДВС (на частичных нагрузках) клапан КР открыт (см. рис. 20.8, б). Но как только дроссельная заслонка открывается более чем на 70 угловых градусов, разрежение в вакуумном канале 3 начинает падать (переход в режим полной нагрузки) и под действием возвратной пружины 5 клапан рециркуляции КР снова закрывается (см. рис. 20.8, в).

Следует отметить, что в некоторых вариантах систем ЭСР термопневмоклапан (поз. 16 на рис. 20.7) отсутствует. И тогда вакуумный канал несколько измененного по конструкции клапана рециркуляции КР подключается непосредственно к впускному коллектору. В системах впрыска с электронным управлением клапан рециркуляции управляется электрически от ЭБУ впрыска.

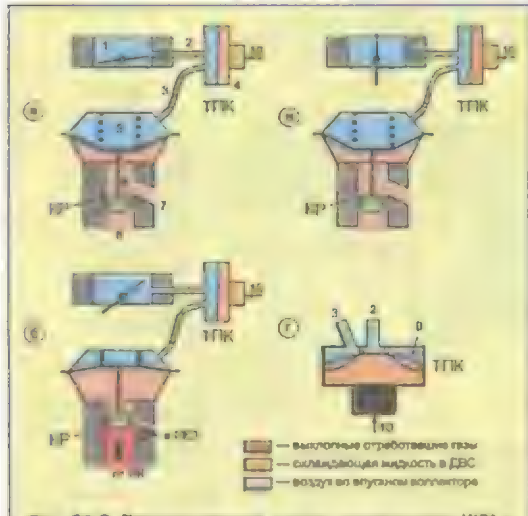


Рис. 20.8. Пневматический клапан рециркуляции (КР) с термопневматическим клапаном (ТПК) управления:
а — состояние клапанов при ХХ (КР — закрыт); б — состояние клапанов при частичных нагрузках (КР — открыт); в — состояние клапанов в режиме полной нагрузки (КР — закрыт); г — состояние ТПК при непрогретом ДВС (диафрагма 9 вверху — ТПК закрыт); 1 — дроссельная заслонка; 2 и 3 — вакуумные каналы для КР и ТПК; 4 — клапан ТПК; 5 — возвратная пружина и диафрагма вакуумной камеры КР; 6 — запорный шток клапана КР; 7 — патрубок для потока ОГ в предклапанную зону (ПКЗ); 8 — патрубок для потока ОГ от выпускного коллектора (ВК); 9 — запорная биметаллическая диафрагма в ТПК; 10 — охлаждающая жидкость из ДВС.

Вышеописанный процесс рециркуляции отработавших газов с помощью наружного пневматического клапана рециркуляции называется внешней рециркуляцией. Но рециркуляция отработавших газов может иметь место и непосредственно в камерах сгорания двигателя, механизм газораспределения которого работает со значительным смещением фазы перекрытия клапанов в сторону впуска. Такая рециркуляция называется внутренней. Предполагается, что на двигателях следующего поколения, когда станет возможным электронное управление клапанами в газораспределительном механизме, необходимость во внешней рециркуляции отпадет.

20.8. Экологические системы автомобиля с нейтрализацией отработавших газов в выпускном тракте (система ЭСН)

Нейтрализацию токсичных веществ в выпускном канале после их эвакуации из цилиндров можно реализовать с помощью различных газонейтрализаторов.

На современных легковых автомобилях самыми распространенными в настоящее время являются комбинированные каталитические газонейтрализаторы (КГН).

На рис. 20.9а показан комбинированный трехкомпонентный двухсекционный каталитический газонейтрализатор (КГН), состоящий из двух последовательно соединенных нейтрализаторов — восстановительного (ВГН) и окислительного (ОГН). В обоих случаях катализатором являются тонкие платино-родиевые пленки, нанесенные на внутреннюю поверхность сотовой керамики 2. Отработавшие газы пропускают через соты. Сотовое тело комбинированного газонейтрализатора разделено на две секции. Конструкция сот и линейные размеры секций несколько различны. Ряд КГН изготавливается с применением керамических гранул вместо сотовых секций. Но гранулы, как и соты, покрываются тонкой пленкой катализатора из благородного металла. Первая секция (по направлению движения отработавших газов) выполняет функции однокомпонентного высокотемпературного (600...800°С) восстановительного нейтрализатора (ВГН) для оксидов азота NO_x. Здесь протекает химическая реакция $2NO + 2CO = N_2 + 2CO_2$, из которой видно, что восстановление азота N_2 из моноокиси азота NO происходит при наличии некоторого избытка угарного газа CO, который в данном случае является восстановительной средой. Таким образом, нейтрализация окиси азота NO протекает более эффективно, если двигатель работает на несколько обогащенной ТВ-смеси ($\alpha = 0{,}95$), а восстановительный нейтрализатор установлен до окислительного. Для более эффективной работы в некоторых конструкциях КГН (для мощных ДВС с большим объемом цилиндров) предусматривается подача дополнительного воздуха в секцию окислительного нейтрализатора через специальный штуцер.

При сгорании более богатых ТВ-смесей ($\alpha \le 0{,}9$) в выхлопных газах образуется водород, который в этом случае работает так же, как восстановительная среда для моноокиси азота:

$2NO + 5H_2 = 2NH_3 + 2H_2O$, где NH_3 — аммиак.

Образовавшийся водный раствор аммиака способствует промывке труб и глушителя выпускной системы и выбрасывается в парообразном состоянии вместе с ОГ в атмосферу. Пары аммиака хотя и слабо токсичны, но менее опасны, чем оксиды азота NO_x.

Вторая секция — каталитический окислительный газонейтрализатор (ОГН). В ОГН происходит нейтрализация двух компонентов CO и CH.

Комбинация из ВГН и ОГН представляет собой составной трехкомпонентный нейтрализатор, который конструктивно выполнен в одном моноблоке и устанавливается в выпускном тракте вместо переднего глушителя (рис. 20.9, б).

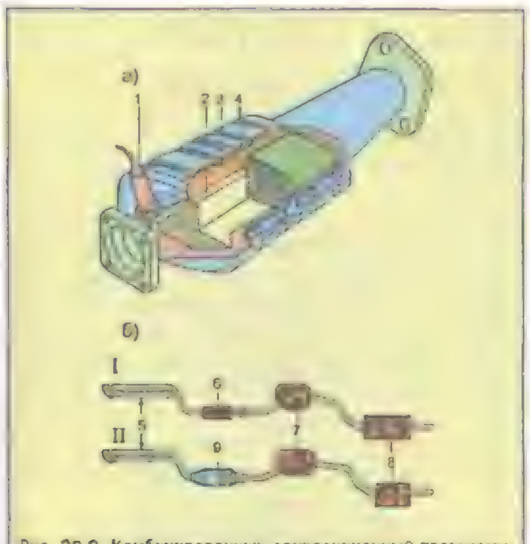


Рис. 20.9. Комбинированный двухсекционный трехкомпонентный каталитический газонейтрализатор (КГН):
а — конструкция; б — подсистема выпуска отработавших газов (ОГ) без КГН (I) и с КГН (II); 1 — датчик концентрации кислорода (ДКК); 2 — сотовая керамика КГН; 3 — утеплитель; 4 — корпус с термоизоляцией; 5 — приемная труба; 6, 7, 8 — передний, средний и выпускной глушители (соответственно); 9 — КГН.

Экологическая система автомобиля с нейтрализатором КГН работает только совместно с кислородным датчиком (или с двумя кислородными датчиками), так как главным условием нормального функционирования нейтрализатора КГН является требование строгого поддержания коэффициента избытка воздуха α в заданных пределах. Это возможно обеспечить при регулировании состава смеси в системах впрыска топлива с обратной связью по содержанию кислорода в ОГ (см. рис. 20.3).

На выходе экологической системы ЭСН с нейтрализатором КГН и кислородным датчиком картина концентрации токсичных веществ резко отличается от концентрации этих веществ на входе. Выше, на рис. 20.4, приведены графики зависимости CH, CO, NO_x от коэффициента избытка воздуха α для современной системы ЭСН. Из графиков видно, что концентрация всех токсичных веществ после их обработки в ЭСН с кислородным датчиком практически равна нулю. Но зона экологически чистой работы ДВС очень узкая — $0{,}99 \leq \alpha \leq 1{,}01$. При работе двигателя в режимах частичных нагрузок ширина "окна экологической безопасности" должна строго выдерживаться. Это достигается в электронной системе впрыска топлива высокой стабильностью работы всех составных ее частей.

Важно отметить, что при работе холодного двигателя на обогащенных ТВ-смесях (пуск, прогрев) кислородный датчик в системе ЭСН отключается электронным блоком управления. Но даже в таком случае нормы выброса токсичных веществ не нарушаются, так как продолжает функционировать КГН перед которым дополнительно устанавливается адсорбер.

Адсорбер — это накопитель токсиногенов, содержащий полиобменную смолу — цеолит. Пока двигатель не прогрет, цеолитовая смола адсорбирует (накапливает) токсичные вещества, которые после разогрева комбинированного газонейтрализатора КГН (до T = 500...600°C) перетекают в первую его ступень (в ВГН).

В последнее время стали применять и однокомпонентный накопитель для оксидов азота NO_x, который выполнен из пористого алюминия, покрытого тонкой пленкой катализатора (например, родия). Родиево-алюминиевый накопитель (РАН) монтируется перед КГН, но в отличие от адсорбера с цеолитом может накапливать только NO_x. Сброс накопленных в РАН оксидов азота происходит при повышенных нагрузках двигателя, когда температура ОГ заметно возрастает.

РАН предназначен для использования совместно с системой впрыска бензина из группы "D" (непосредственный впрыск в камеру сгорания), которая обеспечивает работу автомобильного двигателя в режимах частичных нагрузок на очень бедных ТВ-смесях (см. главу 18).

В заключение следует подчеркнуть, что из всех проблем современного автомобильного двигателестроения нейтрализация выхлопных отработавших газов самая злободневная.

Глава двадцать первая

ДАТЧИКИ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Любая электронная система автоматического управления (ЭСАУ) включает в свой состав множество различных преобразователей неэлектрических воздействий в электрические сигналы. Такие устройства принято называть датчиками, так как они задают необходимую входную информацию для работы ЭСАУ. При этом одна группа датчиков реагирует на внешние управляющие сигналы и случайные возмущения, а другая воспринимает сигналы от самой системы управления и возвращает их обратно в систему. Первая группа непосредственно управляет работой системы и адаптирует ее к случайным внешним воздействиям (возмущениям). Вторая — образуют обратные связи, чем способствует улучшению параметров и характеристик системы, повышает эффективность ее работы. В данной главе описываются датчики, которые наиболее часто используются в электронных системах автоматического управления автомобильным двигателем.

21.1. Предварительные замечания

Самые обобщенные (структурные) схемы датчиков приведены на рис. 21.1, а, 21.1, б, 21.1, в. Датчик (Д), как преобразователь неэлектрического воздействия (НВ) в электрический сигнал (ЭС), всегда состоит, как минимум, из двух частей (рис. 21.1, а) — из чувствительного элемента (ЧЭ), который обладает способностью воспринимать входное неэлектрическое воздействие, и из преобразователя (П) неэлектрического сигнала (НС) от чувствительного элемента в электрический сигнал (ЭС).

Датчики бывают активными устройствами, в которых электрический сигнал возникает за счет внутреннего энергетического преобразования без использования внешней электрической энергии (рис. 21.1, б). И пассивными, в которых электрический сигнал — есть следствие модуляции внешней (ВЭ) электрической энергии (рис. 21.1, в). Например, обычное переменное сопротивление с ползунковым контактом (потенциометр) может выполнять функции пассивного датчика угла поворота.

21.2. Датчики угла поворота

Модель потенциометрического датчика угла поворота показана на рис. 21.1г. В таком пассивном датчике чувствительным элементом (ЧЭ) является ось вращения, на которую установлен ползунковый контакт, а резистивная дорожка П — это преобразователь углового положения оси (которое является неэлектрическим сигналом (НС) на выходе чувствительного элемента) в выходную резистивную величину (рис. 21.1, д). Электрический сигнал (ЭС) на выходе потенциометрического датчика появится только после того, как на резистивную дорожку будет подана внешняя электрическая энергия (ВЭ) в виде постоянного напряжения. Тогда электрический потенциал на ползунковом контакте относительно одного из выводов резистивной дорожки и будет выходным электрическим сигналом (ЭС) датчика.

На рис. 21.1е показана линейная характеристика преобразования потенциометрического датчика. Характеристику можно легко изменить и сделать нелинейной, ступенчатой, с разной крутизной на участках, чем широко пользуются при изготовлении датчиков с требуемой характеристикой преобразования. Достигается это как изменением ширины резистивной дорожки на участках, так и распределением толщины резистивного слоя на ней. Иногда

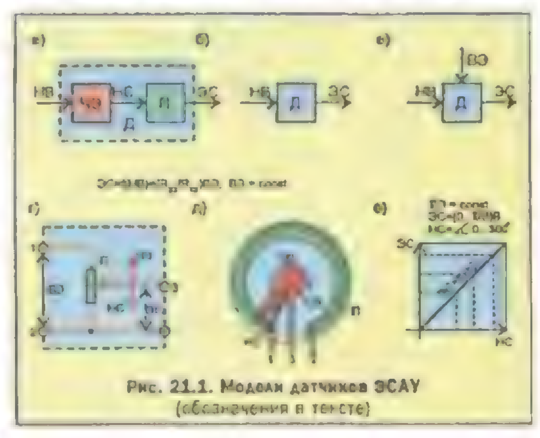


Рис. 21.1. Модели датчиков ЭСАУ (обозначения в тексте)

применяются многодорожечные двухползунковые потенциометры.

Следует заметить, что погрешность преобразования пассивного потенциометрического датчика зависит как от точности изготовления чувствительного элемента ЧЭ и преобразователя П, так и от стабильности постоянного напряжения внешней энергии ВЭ. Поэтому там, где требуется высокая точность, применяются специальные конструктивные меры (см. главу 14), а постоянное напряжение ВЭ стабилизируется.

К потенциометрическим датчикам ЭСАУ-Д* относятся: датчик углового положения дроссельной заслонки — ДПД (рис. 14.4); датчик углового положения ротаметра расходомера воздуха — ДРВ (рис. 21.2); датчик положения педали акселератора (ДПА) [7]; датчики положения различных поворотных устройств (например, поворотного барабана в узле дроссельной заслонки системы "Motronic" — см. рис. 18.6).

Классические датчики уровня топлива в бензобаке и давления масла в ДВС — также потенциометрические. Все потенциометрические датчики имеют на выходе аналоговый электрический сигнал и при работе в составе цифровой ЭСАУ требуют применения аналого-цифровых преобразователей. Стандартная (образцовая) форма сигнала для потенциометрических датчиков угла поворота (на примере ДПД) показана на рис. 21.9, в.

Рис. 21.2.
Расходомер воздуха с демпферной камерой и датчиком температуры:
1 — винт регулировки CO; 2 — обводной канал; 3 — штекерный разъем расходомера; 4 — воздушная заслонка расходомера (ротаметр); 5 — потенциометрический датчик положения ротаметра (датчик расхода воздуха); 6 — демпферная камера; 7 — пластина демпфера; 8 — датчик температуры воздуха на впуске; 9 — контактная пара для выключения электробензонасоса при отсутствии вращения коленвала ДВС, но включенном зажигании.

* ЭСАУ-Д — электронная система автоматического управления автомобильным двигателем.

21.3. Контактные датчики ЭСАУ-Д

На современном автомобиле, помимо потенциометрических, имеется достаточно большое количество контактных датчиков, состоящих из электрической контактной пары (преобразователь датчика) и механического толкателя (чувствительный элемент). Такие датчики являются пассивными, работают по принципу разрыва или замыкания электрической цепи и поэтому на выходе имеют дискретный сигнал "да-нет", который легко преобразуется в цифровой.

В современных ЭСАУ-Д контактные датчики применяются в основном как датчики краевых положений дроссельной заслонки в составе датчика ее положения, или как отдельные устройства. В некоторых случаях контактный датчик используется как микровыключатель электробензонасоса при неработающем двигателе, но включенном зажигании. Такой датчик устанавливается в расходомере воздуха (см. рис. 21.2, поз. 9).

21.4. Датчики Холла

В современных системах автоматического управления двигателем для определения частоты вращения и положения коленчатого и распределительных валов используется датчик на эффекте Холла (рис. 21.3).

Суть эффекта Холла состоит в том, что если прямоугольный токопроводный брусок К, по которому протекает постоянный электрический ток $I_в$, поместить в поперечное постоянное магнитное поле В, то в третьем декартовом направлении на боковых гранях бруска будет наводиться электродвижущая сила E_x, которая по имени ее открывателя названа ЭДС-Холла. Направление этой ЭДС, как и в классическом индукционном трезубце (I⊥B⊥F), определяется по правилу левой руки. На рис. 21.3а показана модель элемента Холла. Если магнитные силовые линии поля В в зазоре Р перекрыть магнитонепроницаемой шторкой, ЭДС-Холла исчезнет.

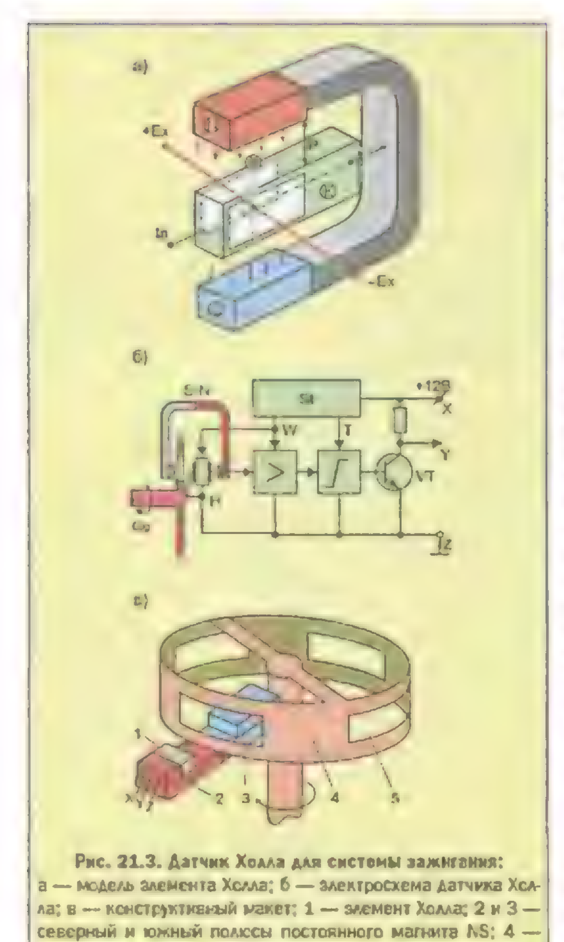


Рис. 21.3. Датчик Холла для системы зажигания:
а — модель элемента Холла; б — электросхема датчика Холла; в — конструктивный макет; 1 — элемент Холла; 2 и 3 — северный и южный полюсы постоянного магнита NS; 4 — вращающийся магнитный аттенюатор; 5 — магнитопрозрачное окно; X, Y, Z — контакты микросхемы элемента Холла.

Если шторку, которую часто называют магнитным аттенюатором, убрать, то ЭДС Холла появится вновь. Таким образом элемент Холла совместно с магнитным аттенюатором образуют датчик, в котором чувствительным элементом является аттенюатор, а преобразованием — элемент Холла. Ясно, что для работы датчика Холла требуется внешний источник постоянного тока, то есть этот датчик (как и вышеописанные) является пассивным. Для устойчивой работы и стабилизации выходного сигнала датчика элемент Холла собирается на полупроводниковой микроплате вместе с электронной схемой (рис. 21.3, б). В микроэлектронную схему входят: усилитель-ограничитель W, формирователь на триггере Шмидта T, эммитерный повторитель VT и стабилизатор St напряжения питания.

В реальном датчике Холла микроплата 1 и постоянный магнит 2, 3 установлены неподвижно и разделены вращающимся аттенюатором 4, который выполнен в виде полого цилиндра с магнитопрозрачными окнами 5 (рис. 21.3, в). Выходной сигнал такого датчика представляет собой последовательность прямоугольных импульсов со стабильной амплитудой и формой (см. далее рис. 21.9, поз. з), которые не зависят от скорости переключения датчика. Число импульсов в единицу времени и их длительность определяются частотой вращения магнитного аттенюатора и числом окон на нем. Число окон на аттенюаторе ровно числу цилиндров ДВС. Длительность каждого импульса при конкретной частоте следования определяется размером окна аттенюатора по периметру его окружности. Окно для первого цилиндра шире остальных, благодаря чему может быть зафиксирована точка начала отсчета. Таким образом с помощью датчика Холла и электронной схемы обработки его выходного сигнала могут быть определены три главных входных параметра для системы зажигания: частота вращения коленвала ДВС (применяется электронное умножение частоты импульсов датчика), его положение относительно верхней мертвой точки для любого цилиндра в любой момент времени и положение точки начала отсчета. Безынерционность датчика и стабильность параметров сигнала позволяют реализовать управление углом опережения зажигания в каждом такте, то есть для каждого цилиндра в отдельности.

21.5. Пьезоэлектрические датчики

В современных ЭСАУ-Д помимо вышеописанных пассивных датчиков достаточно широко используются и активные. В активных датчиках реализуются самые разнообразные физические эффекты, при которых имеет место внутреннее энергетическое преобразование внешнего неэлектрического воздействия в выходной электрический отклик.

Примером к сказанному может служить пьезоэлектрический эффект. Устройство, реализующее этот эффект называется пьезоэлементом (рис. 21.4, а).

Суть пьезоэлектрического эффекта в том, что при механическом воздействии НВ на пластинку ПК пьезокристалла, которая с обеих сторон покрыта токопроводной пленкой ТК и одним концом жестко закреплена в фиксирующем держателе ФД, на токопроводных покрытиях ТК появляется разность электрических потенциалов (электрический сигнал ЭС), величина и форма которой пропорциональна степени прогиба пластинки под воздействием входного механического усилия НВ. Пьезокристаллический элемент может быть любой формы: прямоугольным бруском, плоской пластиной, круглой шайбой, трубчатым цилиндром, что определяется конструкцией опоры и местом приложения внешнего усилия к пьезоэлементу.

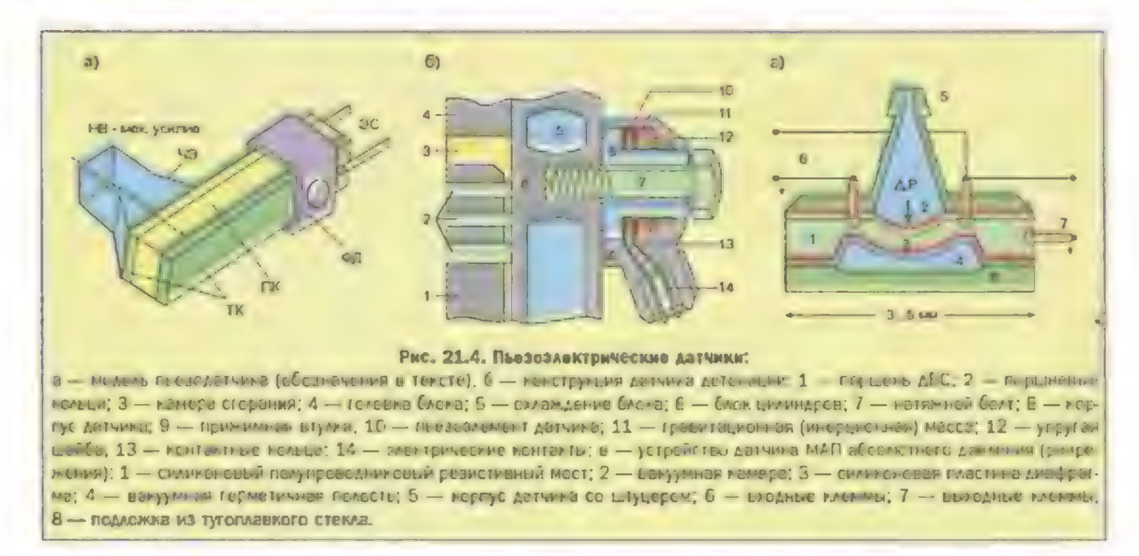


Рис. 21.4. Пьезоэлектрические датчики:
а — модель пьезодатчика (обозначения в тексте). б — конструкция датчика детонации: 1 — поршень ДВС; 2 — поршневые кольца; 3 — камера сгорания; 4 — головка блока; 5 — охлаждение блока; 6 — блок цилиндров; 7 — натяжной болт; 8 — корпус датчика; 9 — прижимная втулка, 10 — пьезоэлемент датчика; 11 — гравитационная (инерционная) масса; 12 — упругая шайба, 13 — контактные кольца; 14 — электрические контакты; в — устройство датчика МАП абсолютного давления (разрежения): 1 — силиконовый полупроводниковый резистивный мост; 2 — вакуумная камера; 3 — силиконовая пластина диафрагма; 4 — вакуумная герметичная полость; 5 — корпус датчика со штуцером; 6 — входные клеммы; 7 — выходные клеммы, 8 — подложка из тугоплавкого стекла.

Пьезоэлемент способен реагировать на самые разнообразные механические воздействия, начиная от одиночного удара и до высокочастотных ультразвуковых колебаний. Пьезоэлемент (преобразователь) совместно с конструктивным устройством для восприятия и передачи входного механического усилия (чувствительный элемент) образуют пьезоэлектрический датчик. Достоинствами такого датчика являются малые размеры, безынерционность и активный принцип действия (не требуется внешний источник электрической энергии).

На автомобиле пьезоэлектрические датчики применяются в ультразвуковых системах защиты стекол дверей от несанкционированного вскрытия, в системе предотвращения от соударений автомобиля с препятствием, но главное использование пьезоэлектрических датчиков — в качестве датчиков ЭСАУ-Д. Таких датчиков два: измеритель абсолютного давления (разрежения) во впускном коллекторе двигателя (тензометрический датчик MAP нагрузки двигателя) и детонационный датчик.

- Пьезоэлектрический преобразователь детонационного датчика (ДД) выполняется в виде шайбы, которая посредством стяжного болта и инерционной массы прижимается к полированной площадке на блоке цилиндров (рис. 21.4, б). Точка установки датчика определяется экспериментально на этапе конструктивной разработки двигателя (в жидкостной ванне определяются узлы ультразвуковых волн на блоке цилиндров и выбирается тот, который поближе к камере сгорания). Для отработанной модели блока место установки датчика детонации остается постоянным. Стандартная форма сигнала детонационного датчика показана на рис. 21.9д. В электронном блоке такой сигнал сначала фильтруется, а затем амплитуда огибающей функции сравнивается с допустимым уровнем для сигнала детонации. При превышении заданного уровня авторегулятор зажигания корректирует угол опережения зажигания соответствующим образом.

- Тензометрический датчик (МАП) абсолютного давления в отличие от детонационного является пассивным преобразователем. Под воздействием внешнего усилия в тензодатчике изменяется его внутреннее омическое сопротивление. Конструктивно тензодатчик представляет собой полупроводниковую микроструктуру, пьезоэлементом в которой является тонкая (около 0,2 мм) силиконовая пластина (рис. 21.4, в). На этой пластине технологически сформированы четыре резистивные зоны (омические сопротивления), которые соединены между собой по мостовой схеме. В одну диагональ моста подается стабилизированное напряжение +5 В, а напряжение, снимаемое с другой диагонали, — есть линейная функция от абсолютного давления (разрежения) над силиконовой пластиной. Для того чтобы тензодатчик имел требуемую характеристику преобразования, под силиконовой пластиной создается герметизированная вакуумная полость (между пластиной и стеклянной подложкой). Остаточное давление в полости не превышает 0,1 бар, благодаря чему силиконовая пластина, как упругая диафрагма, прогибается в сторону вакуумной полости — при нормальном атмосферном давлении над пластиной, или полностью прогибается вверх при разрежении над пластиной — диафрагмой. Линейные размеры чувствительного элемента тензодатчика не превышают 2...3 мм. Если тензодатчик предназначен для работы с цифровой ЭСАУ-Д, то его аналоговый сигнал преобразуется в форму, показанную на рис. 21.9и. Подобно датчи-

ку Холла, тензодатчик выполняется на общей подложке с генераторной микросхемой для формирования сигнала. Такой датчик обычно устанавливается непосредственно в электронном блоке ЭСАУ-Д и соединяется с задроссельной зоной впускного коллектора с помощью тонкого вакуумного шланга. Но возможны и другие варианты установки датчика MAP.

21.6. Индуктивные датчики

В ряде ЭСАУ-Д в качестве датчиков частоты вращения и углового положения коленчатого вала двигателя вместо датчика Холла используются активные магнитоэлектрические (индуктивные) датчики.

• Модель индуктивного датчика (ИД) показана на рис. 21.5а. Как видно из рисунка, основными составными частями такого датчика являются катушка индуктивности L с постоянным магнитом NS (преобразователь) и зубчатый диск ФД, зубцы Z которого выполнены из ферромагнитного материала (чувствительный элемент). Спецификой индуктивного датчика является конструктивная разобщенность его элементов (диска и индуктивного преобразователя). Таким образом, индуктивный датчик ИД представляет собой только половину преобразователя неэлектрической величины (круговой частоты $\omega_д$ коленвала) в электрический сигнал (в частоту F_c следования электрических импульсов). Другая половина — зубчатый диск ФД.

Принцип действия индуктивного датчика основан на первом законе электромагнитной индукции и заключается в том, что увеличение или уменьшение (изменение) магнитного потока Ф через витки $W_д$ катушки индуктивности L вызывает возникновение в них (в витках) электродвижущей силы (ЭДС) $E_д = Wd\Phi/dt$. Согласно приведенной модели (см. рис. 21.5, а), для реализации описанного принципа в реальном индуктивном датчике, его катушка L насажена на постоянный стержневой магнит NS. Один полюс магнита (например, северный N) выступает в сторону зубцов Z ферромагнитного диска ФД, а другой (южный S) упирается в цилиндрический магнитопровод МП. Магнитопровод МП и выступающий торец (магнитный щуп N) постоянного магнита совместно с зубцами Z ферромагнитного диска ФД образуют рабочий воздушный зазор датчика. При вращении диска ФД (коленвала ДВС) величина рабочего воздушного зазора постоянно изменяется — от минимума, когда зубец находится под магнитным щупом датчика (соответствует чертежу рисунка), до максимума — когда под щуп попадает впадина между зубцами. Изменение рабочего зазора вызывает изменение его магнитного сопротивления, а значит, и магнитного потока Ф через витки $W_д$ катушки L. Это и приводит к появлению знакопеременной ЭДС (почти синусоидальной формы), точка перемены знака (нулевая точка) которой соответствует середине вершины (центру) зубца. Нулевая точка может быть легко зафиксирована с помощью несложной обработки ЭДС Е в электронной схеме. Это позволяет достаточно точно определять угловое положение каждого зубца диска (а значит, и коленвала) относительно точки начала отсчета. Стандартная (образцовая) форма сигнала индуктивного датчика показана на рис. 21.9е.

• Индуктивный датчик устанавливается так, чтобы его магнитный щуп находился в непосредственной близости (0,5...1,5 мм) к ферромагнитным зубцам диска, а сам диск располагается либо на переднем, либо на заднем торце коленвала. Такой индуктивный датчик иногда называется датчиком оборотов двигателя (ДОД), так как он позволяет определять частоту $\omega_д$ вращения коленвала двигателя по частоте Fc следования генерируемых им импульсов. Кроме того, с его помощью можно измерять угол поворота коленвала между двумя характерными собы

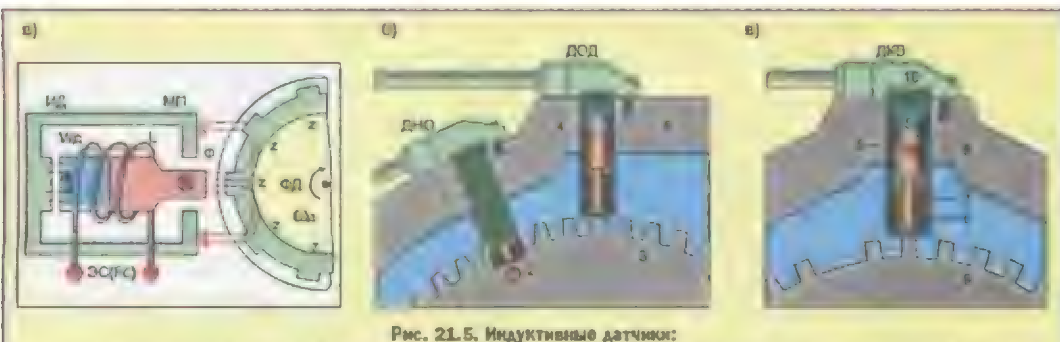


Рис. 21.5. Индуктивные датчики:
а — модель индуктивного датчика (обозначения в тексте); б — датчик частоты вращения (оборотов) двигателя (ДОД) и датчик начала отсчета (ДНО); в — датчик коленчатого вала (ДКВ) с функциями ДОД и ДНО; 1 — ДНО; 2 — штырь для ДНО; 3 — венечная шестерня маховика ДВС; 4 — ДОД; 5 — картер маховика; 6 — магнит N-S; 7 — ферромагнитный сердечник; 8 — катушка; 9 — специальный зубчатый диск (чувствительный элемент датчика) на коленвале; 10 — ДКВ.

тиями, сосчитав между ними число импульсов датчика. В последнем случае индуктивный датчик называется датчиком угловых импульсов (ДУИ).

Так как зубчатая (стартерная) венечная шестерня маховика двигателя выполняется из ферромагнитного материала, то ее (шестерню) часто используют в качестве зубчатого диска индуктивного датчика. В таком случае для определения точки начала отсчета устанавливается второй (дополнительный) индуктивный датчик, генерирующий один импульс за один оборот коленвала. Ферромагнитным возбудителем дополнительного датчика является стальной штырь, ввернутый в маховик сбоку в определенном месте (рис. 21.5, б). Это место соответствует точке положения коленвала, от которой до верхней мертвой точки (ВМТ) первого поршня остается столько угловых градусов, сколько предусмотрено микропроцессором в данной цифровой ЭСАУ-Д для проведения вычислений угла опережения зажигания (обычно 45...60°). Такое устройство называется датчиком начала отсчета (ДНО) и используется совместно с датчиком угловых импульсов (ДУИ).

Но функции датчика начала отсчета может выполнять и сам датчик угловых импульсов, если его возбудителем является зубчатый диск с пропуском одного или двух зубцов в том месте, где устанавливается стальной штырь для ДНО (рис. 21.5, в). Такой датчик называется индуктивным датчиком коленчатого вала (ДКВ). Образцовая осциллографическая форма сигнала ДКВ показана на рис. 21.9ж.

21.7. Датчики концентрации кислорода

На современном автомобиле проблемы нейтрализации токсичных веществ в выхлопных отработавших газах (ВОГ) решаются с применением специальных газонейтрализаторов. Эти устройства более надежно работают совместно с системой впрыска бензина, которая оснащена датчиком (или двумя датчиками) концентрации кислорода (ДКК) в выпускном тракте двигателя (рис. 21.6, а).

Кислородный датчик* вырабатывает сигнал обратной связи $U_д$ для электронного блока управления впрыском (ЭБУ- В), который (ЭБУ) корректирует состав ТВ-смеси по коэффициенту избытка воздуха α на входе системы. Корректировка реализуется изменением продолжительности впрыска бензина форсункой ФВ (изменяется длительность управляющего импульса S_t).

Датчик кислорода для ЭСАУ-Д может быть выполнен в трех вариантах: как химический источник тока (ХИТ) с управляемой по концентрации кислорода электродвижущей силой; как хеморезистор**, у которого величина электрического сопротивления зависит от парциального давления кислорода в омываемых датчик выхлопных отработавших газах; как термопара с термоедс, зависящей от концентрации кислорода.

- Датчик кислорода как ХИТ (рис. 21.6, б) состоит из двух платиновых элетродов Pt и твердого электролита из диоксида циркония ZrO_2 между ними. Диоксид циркония имеет пористую структуру и нанесенные с обеих сторон (в вакууме) на его поверхность тонкие пленки платины (электроды), тоже пористые, с микроскопическими отверстиями. По газовым потокам электроды разобщены так, что один из них находится во внешней окружающей атмосферной среде (ВАС), а другой — омывается выходными отработавшими газами (ВОГ).

Таким образом создается электрохимическая система $[(O_2')Pt]\ [ZrO_2]\ [Pt(O_2'')]$, которая становится активной при нагреве до температуры выше 350°С.

Природа возникающей активности указанной системы связана с высокотемпературным разложением молекул кислорода O_2 на положительные ионы и свободные электроны ($O_2 \to 2O_+ + 2e$). Такая реакция имеет место в порах твердого электролита за платиновыми пористыми электродами, где в присутствии платинового катализатора и при температуре выше 350°С кислород переходит в ионизированное состояние. Если концентрация кислорода с обеих сторон твердого циркониевого электролита одинаковая ($O_2' = O_2''$), то разность электрических потенциалов на платиновых электродах равна нулю (количество носителей электрических зарядов в противоположных зонах одинаковое). С уменьшением концентрации кислорода в отработавших газах ($O_2' > O_2''$), по сравнению с окружающей атмосферой (за счет выгорания O_2 в цилиндрах ДВС), равновесие электрических зарядов нарушается, образуется движенив ионов кислорода в электролите и на электродах возникает электродвижущая сила (ЭДС) $E_д$ датчика. Полярность $E_д$ относительно наружного электрода, соединенного с "массой" (с корпусом) датчика, — положительная.

На рис. 21.6г показан чертеж датчика концентрации кислорода в разрезе, который ввернут в трубу 1 выпускного коллектора. Атмосферный воздух (ВАС) попадает внутрь активного элемента 4 датчика через воздушные каналы 6, просверленные в крепежном корпусе 8. Выхлопные отработавшие газы (ВОГ) "омывают" наружную поверхность 3 активного элемента 4, к которому они проникают через прорези 16 в защитном колпачке 2. Наружный контактный платиновый слой 3 активного элемента

* *В иностранной технической литературе кислородный датчик называется лямбда-зондом (λ-зонд).*

** *Термин "хеморезистор" предложен автором и составлен по аналогии с термином "терморезистор". Если в терморезисторе величина омического сопротивления зависит от воздействия температуры, то по отношению к хеморезистору контролируемым внешним воздействием является парциальное давление газообразного химического вещества (например O_2).*

4 электрически соединен с корпусом 8 и далее через уплотнительную шайбу 14 — с "массой" двигателя. Внутренний платиновый слой 5 (положительный электрод) соединен с клеммой 11 выходного сигнального контакта посредством прижимного контактного соединения 7 и соединительного штыря 12 с контактной шайбой 15. Внутренняя полость 13 — керамический изолятор. Назначение других деталей датчика концентрации кислорода (ДКК) очевидно из чертежа. Характеристика преобразования кислородного датчика показана на рис. 21.6в, а образцовая форма текущего значения сигнала ДКК — на рис. 21.9г.

При коэффициенте $\alpha > 1$ величина $E_д < 0{,}1$ В. При $\alpha < 1$ $E_д$ изменяет свою величину скачком до 0,95 В. Образовавшаяся ступенька имеет средний уровень 0,42...0,45 В, который соответствует коэффициенту избытка воздуха $\alpha = 1$. Таким образом, с помощью кислородного датчика можно легко зафиксировать момент, когда ТВ-смесь становится стехиометрической. Этим пользуются для создания так называемого окна экологической безопасности ($0{,}98 \leq \alpha \leq 1{,}02$) при работе системы впрыска, когда выброс токсичных веществ с отработавшими газами становится минимальным.

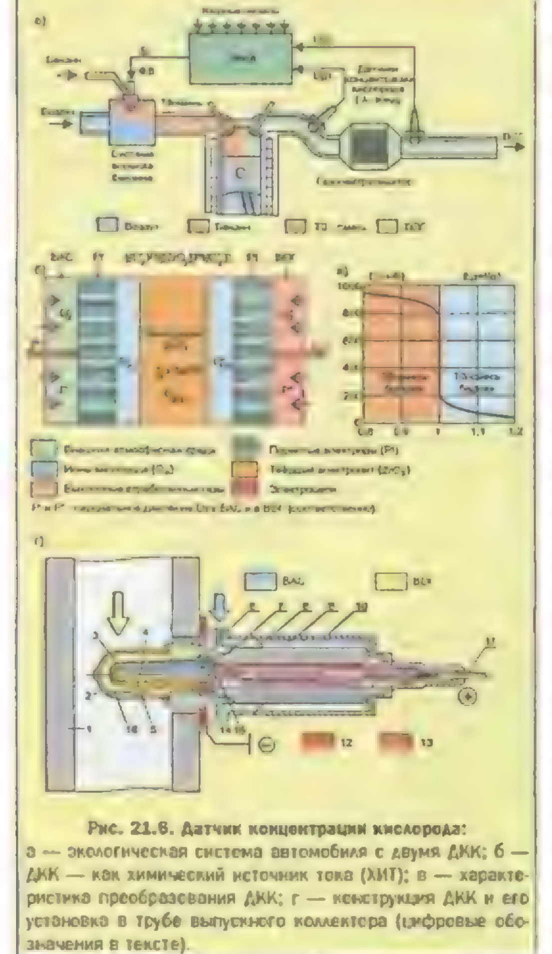


Рис. 21.6. Датчик концентрации кислорода:
а — экологическая система автомобиля с двумя ДКК; б — ДКК — как химический источник тока (ХИТ); в — характеристика преобразования ДКК; г — конструкция ДКК и его установка в трубе выпускного коллектора (цифровые обозначения в тексте).

• Кислородный датчик, как хеморезистор является пассивным преобразователем реостатного типа, в котором омическое сопротивление изменяется под воздействием изменения парциального* давления кислорода в окружающей газовой среде. Резистивная часть датчика выполнена из окиси титана (TiO_2), которая представляет собой кристаллическую полупроводниковую керамику с высокой поверхностной чувствительностью к свободному кислороду при высокой температуре. Восприимчивость керамики к кислороду обусловлена наличием в кристаллической решетке окиси титана свободных связей, которые могут быть легко восстановлены ионами кислорода. Ионы кислорода O_+, как и в циркониевом элементе, образуются в поверхностном слое керамики под воздействием высокой температуры (около 650°С) в присутствии активного катализатора. Роль катализатора играют платиновые контакты, нанесенные в виде тонких пленок (в вакууме) на поверхность хеморезистора. Так как ионы кислорода по отношению к полупроводнику TiO_2 являются "летучей" донорной примесью, то они легко покидают кристаллическую решетку при понижении внешнего парциального давления кислорода. Заполнение или освобождение узловых связей в кристаллической решетке ионами кислорода играет роль регулятора омического сопротивления полупроводника.

Однако хеморезистор помимо чувствительности к изменению концентрации кислорода обладает еще более высокой чувствительностью к изменению температуры нагрева. Так, при повышении температуры в два раза (350...750°С) и при неизменной концентрации кислорода вокруг титаниевого датчика его омическое сопротивление изменяется на пять порядков (от 10^3 до 10^8 Ом). Это приводит к необходимости применения и внутренней, и внешней термокомпенсации. При изготовлении датчика наружный слой окиси титана наносится на стержневой полупроводниковый терморезистор, который обладает температурным коэффициентом сопротивления (ТКС) с противоположным знаком по отношению к хеморезистору из TiO_2. Кроме того, терморезистор

* *Парциональное давление равно давлению одного из компонентов газовой смеси, если в объеме, занятом газовой смесью, этот компонент остался бы один. Общее давление компонентов газовой смеси равно сумме их парциальных давлений. Например, атмосферное давление в окружающей среде складывается из парциальных давлений двух основных компонентов атмосферы — кислорода O_2 и азота N_2.*

нагревается внешним электротоком до рабочей температуры датчика, которая автоматически поддерживается постоянной.

• Кислородный датчик как термопара с термоэдс, зависящей от концентрации кислорода, является некоторой модификацией датчика с хеморезистором. Керамическая основа та же — окись титана TiO_2. Выводные контакты платиновые. Но теперь используется не изменение резистивности полупроводника, а его термоэлектрический контакт с металлом внешнего соединителя. Образуется термопара "TiO_2-Pt", термоэдс которой при постоянной температуре зависит от концентрации свободных носителей зарядов в полупроводнике, а та в свою очередь зависит от концентрации кислорода во внешней среде. Термопара становится активным термоэлементом с чувствительностью к концентрации кислорода. Такой датчик подогревается в потоке выхлопных отработавших газов, а его рабочая температура автоматически устанавливается электроподогревателем. При этом один электрод термопары (наружное металлическое покрытие керамики) подвержен более сильному нагреву, что способствует повышению чувствительности датчика.

21.8. Датчики температуры

Самыми распространенными на борту автомобиля являются датчики температуры. С их помощью контролируется температурный нагрев бензина, масел и таких технических жидкостей, как охлаждающая и тормозная, хладагент в кондиционере, а также контролируется температура воздушных и газовых потоков. В некоторых случаях применяется измерение температуры на поверхности металлических деталей.

Датчики температуры могут быть активными (термопары и термоэлементы) и пассивными — самые разнообразные термочувствительные устройства: полупроводниковые диоды, терморезисторы, ферриты с изменяющейся магнитной проницаемостью, конденсаторы, биметаллические пластины и т.п. [15].

Для контроля и измерения температурных параметров современного автомобильного двигателя в ЭСАУ-Д используются следующие датчики: температуры всасываемого воздуха ДТВ ($-40 < T_В < 70$°C); температуры охлаждающей жидкости в блоке цилиндров ДТД ($-40 < T_Д < 120$°C) и в радиаторе ДТР ($-40 < T_Р < 100$°C); температуры масла в масляном картере ДТМ ($-40 < T_М < 100$°C) и в автоматической коробке переключения передач ДТК ($-40 < T_К < 80$°C); температуры бензина в бензобаке ДТБ ($-40 < T_Б < 60$°C); температуры выхлопных отработавших газов в выпускном коллекторе ($100 < T_{ОГ} < 1000$°C). Часть датчиков температуры для ЭСАУ-Д относится к термомеханическим преобразователям (задатчикам), в которых используется температурное расширение металлов. Такие задатчики изготовляются в виде биметаллических пластин или спиралей. К ним относятся задатчики в термореле времени (см. рис. 22.5) и в регуляторах прогрева холодного двигателя (рис. 13.11). Миниатюрной полупроводниковой термопарой является датчик температуры воздуха для некоторых модификаций расходомеров воздуха. Но большинство датчиков температуры для ЭСАУ-Д — это полупроводниковые терморезисторы (термисторы).

Омическое сопротивление терморезисторов существенно изменяется (убывает или возрастает) с ростом температуры. Отрицательным температурным коэффициентом сопротивления (NTC) обладают спекаемые керамические полупроводниковые массы (КПМ). Их формуют в гранулы, стержни или пластины. Температурная чувствительность КПМ лежит в диапазоне –40...800°C, что полностью отвечает всем потребностям датчиков ЭСАУ-Д. Как следствие, датчики температуры с чувствительным элементом из керамической (спеченной) полупроводниковой массы находят широкое применение в автомобильных бортовых системах автоматики.

Спецификой спекаемого термистора как датчика температуры (рис. 21.7) является то, что он одновременно выполняет функции чувствительного элемента и резистивного преобразователя.

Термистор 3 помещается в защитный теплопроводный корпус 2 с крепежной резьбой для установки датчика в нужном месте и с электрическими контактами 1. По мере прогрева двигателя омическое сопротивление чувствительного элемента такого датчика (с NTC) уменьшается, а следовательно уменьшается и падение напряжения на ДТД. При этом образцо-

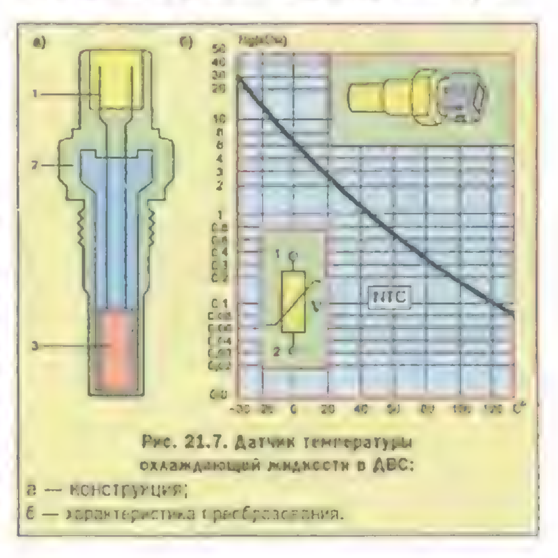


Рис. 21.7. Датчик температуры охлаждающей жидкости в ДВС:
а — конструкция;
б — характеристика преобразования.

вая форма сигнала датчика соответствует осциллограмме, показанной на рис. 21.9, б.

В заключение следует отметить, что известен также целый ряд "экзотических" датчиков для ЭСАУ-Д (см., например [7]). Но их применение на современных легковых автомобилях крайне ограничено.

21.9. Диагностирование датчиков ЭСАУ-Д с помощью электронного осциллографа

Большинство датчиков из числа вышеописанных может быть проверено с помощью стрелочного тестера или цифрового мультиметра. Эти приборы позволяют определять такие параметры датчиков, как резистивность электрических цепей, наличие или отсутствие контактного соединения, электрическое напряжение, подаваемое на пассивный датчик. Все эти параметры могут быть определены только в статическом состоянии, когда датчик отключен от системы управления. Такая проверка не дает объективной информации о всех неисправностях датчика, так как в этом случае он проверяется без воздействия реальных дестабилизирующих факторов.

Для диагностики автомобильных электронных систем автоматического управления двигателем (ЭСАУ-Д) и их составных компонентов разрабатываются специальные автомобильные электронно-цифровые (однолучевые или двухлучевые) осциллографы (АЭЦО).

АЭЦО выпускаются в составе стационарных мотор-тестеров или как автономное контрольно-измерительное устройство. Как и в обычных аналоговых электронных осциллографах, на экране АЭЦО по горизонтали отображается время развертки, а по вертикали разность потенциалов — напряжение или ЭДС. На экран АЭЦО нанесена масштабная сетка (см. далее рис. 21.9, а). Время развертки t может быть стабилизировано кварцевым генератором и тогда оно переключается по длительности только дискретно. При этом числу масштабных единиц по горизонтали строго соответствует кратная или дольная единица времени, имеет место число-импульсная интерпретация времени. Это позволяет получать высокую точность при измерении временных интервалов в сигналах датчиков и в других электрических сигналах ЭСАУ-Д. Второй (вертикальной) координатой на экране АЭЦО является амплитуда А проверяемого сигнала, которая, как и время, имеет число-импульсное представление.

• В отличие от тестерной проверки цифровой осциллограф обеспечивает контроль параметров датчиков на работающем двигателе. Это позволяет обнаруживать не только устойчивые неисправности, но и нерегулярные погрешности датчиков, которые отчетливо проявляются в "динамике".

Основной принцип диагностирования технического состояния датчика с помощью цифрового осциллографа заключается в сравнении формы сигнала с его печатной образцовой формой — шаблоном. Печатные образцовые формы (шаблоны) публикуются в специальных руководствах по проведению осциллографической диагностики (см., например: Pin Data. Разъемы блоков управления двигателем. М.: Autodata, 1999 г., 51 с).

При использовании шаблонов следует иметь в виду, что они представляют собой типичную (штатную) форму сигнала, отображающую лишь "внешний вид" функциональной зависимости, и могут не соответствовать масштабам осциллографических изображений реальных сигналов.

• Для проведения диагностических проверок с помощью осциллографа и других внешних контрольно-измерительных приборов (сканерных мультиметров, стационарных мотор-тестеров и т.п.) диагностические посты должны быть укомплектованы набором переходных кабелей и переходных разъемов (переходных соединителей).

На рис. 21.8 показан стандартный комплект соединителей из диагностического набора "Autodiagnos" (США), в который входят:

- блок 1 проверки электрических цепей (БПЦ), соединенный жгутом проводов 2 с контрольным разъемом 3;
- переходный соединитель, состоящий из контрольного разъема 3, соединительного кабеля 4 и переходного диагностического разъема 5;
- поверяемый электронный блок управления (ЭБУ) 6 с главным соединительным разъемом 7;
- ответная часть 8 главного соединительного разъема 7 в бортовом жгуте проводов 9;



Рис. 21.8. Стандартный компакт диагностических соединителей (обозначения в тексте)

— автомобильный электронно-цифровой осциллограф 10 с положительным (красный) и "земляным" (черный) щупами в соединительном кабеле 11.

С помощью 60-ти клемм наборного поля блока 1 можно подключиться к любому рабочему контакту в разъеме 7 (разъемы 8 и 5 разъединены, а разъемы 5 и 7 соединены) и в ответной части 8 этого разъема (разъемы 5 и 7 разобщены, а разъемы 5 и 8 соединены). При неработающем двигателе это позволяет контролировать потенциалы, резистивности и контактные соединения как внутри ЭБУ, так и в бортовом жгуте проводов 9. Если все три разъема (5, 7, 8) сочленены, возможен контроль электрических параметров в ЭСАУ-Д при работающем двигателе.

21.10. Проверка датчиков ЭСАУ-Д с помощью печатных шаблонов

На рис. 21.9 в виде таблицы представлены печатные шаблоны (типичные образцовые формы) сигналов для некоторых датчиков ЭСАУ-Д.

На рис. 21.9а показано осциллографическое изображение электрического сигнала $U_Д = f(t)$ миандровой формы (как образец).

На рис. 21.9б в виде печатного шаблона представлен закон изменения сигнала датчика температуры двигателя (ДТД). Этот сигнал $U_{ДТ}$ является медленно изменяющимся знакопостоянным положительным напряжением, величина которого падает от 5-ти до 1-го вольта по мере прогрева двигателя, а значит, и чувствительного элемента датчика. Обычно ДТД включается последовательно с измерительным сопротивлением потенциало-чувствительной электронной схемы в ЭБУ и со стабилизированным напряжением +5 В. Уменьшение напряжения на ДТД определяется соответствующим падением омического сопротивления чувствительного элемента (терморезистора с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления). При этом соотношения величин (на примере датчика отечественного производства 19.3828-ГАЗ) такие:

1. $T_Д$ = –20°С, $R_Д$ = 10,0 кОм, $U_{ДТ}$ = 4,98 В;
2. $T_Д$ = 0°С (начало прогрева), $R_Д$ = 6,0 кОм, $U_{ДТ}$ = 4,91 В;
3. $T_Д$ = 20°С (две минуты прогрева), $R_Д$ = 2,5 кОм, $U_{ДТ}$ = 4,72 В;
4. $T_Д$ = 60°С (четыре минуты прогрева), $R_Д$ = 0,6 кОм, $U_{ДТ}$ = 4,00 В;
5. $T_Д$ = 80°С (шесть минут прогрева), $R_Д$ = 0,3 кОм, $U_{ДТ}$ = 2,50 В;
6. $T_Д$ = 100°С (восемь минут прогрева), $R_Д$ = 0,15 кОм, $U_{ДТ}$ = 1,25 В;
7. $T_Д$ = 120°С (после 10-ти минут прогрева), $R_Д$ = 0,11 кОм, $U_{ДТ}$ = 1,00 В.

На рис. 21.9в приведена временная диаграмма (осциллограмма — шаблон) сигнала потенциометрического датчика положения дроссельной заслонки (ДПД). Величина сигнала ДПД (на примере датчика 0280122001 — BOSCH) может изменяться от 1 В при полностью закрытой дроссельной заслонке (ДЗ) до 5 В при полном ее открытии. Как и в датчике температуры, опорным напряжением для ДПД служит стабилизированное напряжение +5 В.

Для проверки ДПД в "динамике" запускают двигатель и на прогретом холостом ходу с помощью цифрового осциллографа измеряют напряжение на ползунковом (подвижном) контакте потенциометрического датчика положения ДЗ. Оно должно быть не более 1 В. Далее быстрым нажатием на педаль газа надо полностью открыть дроссельную заслонку. Напряжение на подвижном контакте должно возрасти до 4,5...5 В. Наблюдая за осциллограммой на экране АЭЦО, контролируется форма сигнала от ДПД. Она должна быть относительно прямолинейной (при плавном нажатии на педаль газа) на участке от закрытого до открытого состояния ДЗ.

На рис. 21.9г показана образцовая форма (шаблон) осциллограммы электрического сигнала датчика концентрации кислорода (ДКК). Его проверку осуществляют следующим образом. Запускают и прогревают двигатель до установившейся (рабочей) температуры. Подсоединяют щупы измерительного кабеля АЭЦО к соответствующим гнездам блока проверки (БПЦ) или непосредственно к клеммам ДКК. Несколько раз нажимают на педаль газа и наблюдают, как изменяется форма сигнала датчика. Амплитуда сигнала должна изменяться от 0,1 В при низких оборотах (~600 мин$^{-1}$) до 0,95 В при высоких (3500 мин$^{-1}$). Если при любых установившихся оборотах сигнал ДКК приобретает вид прямой линии, то при напряжении $U_{ДК} \leq 0,15$ В топливовоздушная (ТВ) смесь обеднена бензином, а при $U_{ДК} \geq 0,65$ В — ТВ-смесь богатая. Богатая ТВ-смесь на прогретом холостом ходу чаще всего свидетельствует о неисправности датчика концентрации кислорода.

На рис. 21.9д приведена образцовая форма (шаблон) для осциллограммы сигнала датчика детонации (ДД). Датчик детонации можно проверить только с помощью АЭЦО. Для этого запускают и прогревают двигатель до рабочей температуры. Щупы АЭЦО подключают либо к гнездам БПЦ, либо к клеммам ДД. Далее необходимо резко и до отказа нажать на педаль газа и визуально сравнить полученную на осциллографе форму сигнала с печатным шаблоном. Должно наблюдаться 3-4 периода с нарастающей амплитудой переменного напряжения и 2-3 с затухающей (сигнал-всплеск).

На рис. 21.9е представлен печатный шаблон для индуктивных датчиков (ИД) частоты вращения ДВС. Индуктивный датчик вырабатывает сигнал по форме, близкой к синусоидальному напряжению. Основной признак работоспособности ИД — это увеличение амплитуды и частоты повторения вырабатываемого переменного напряжения при изменении частоты

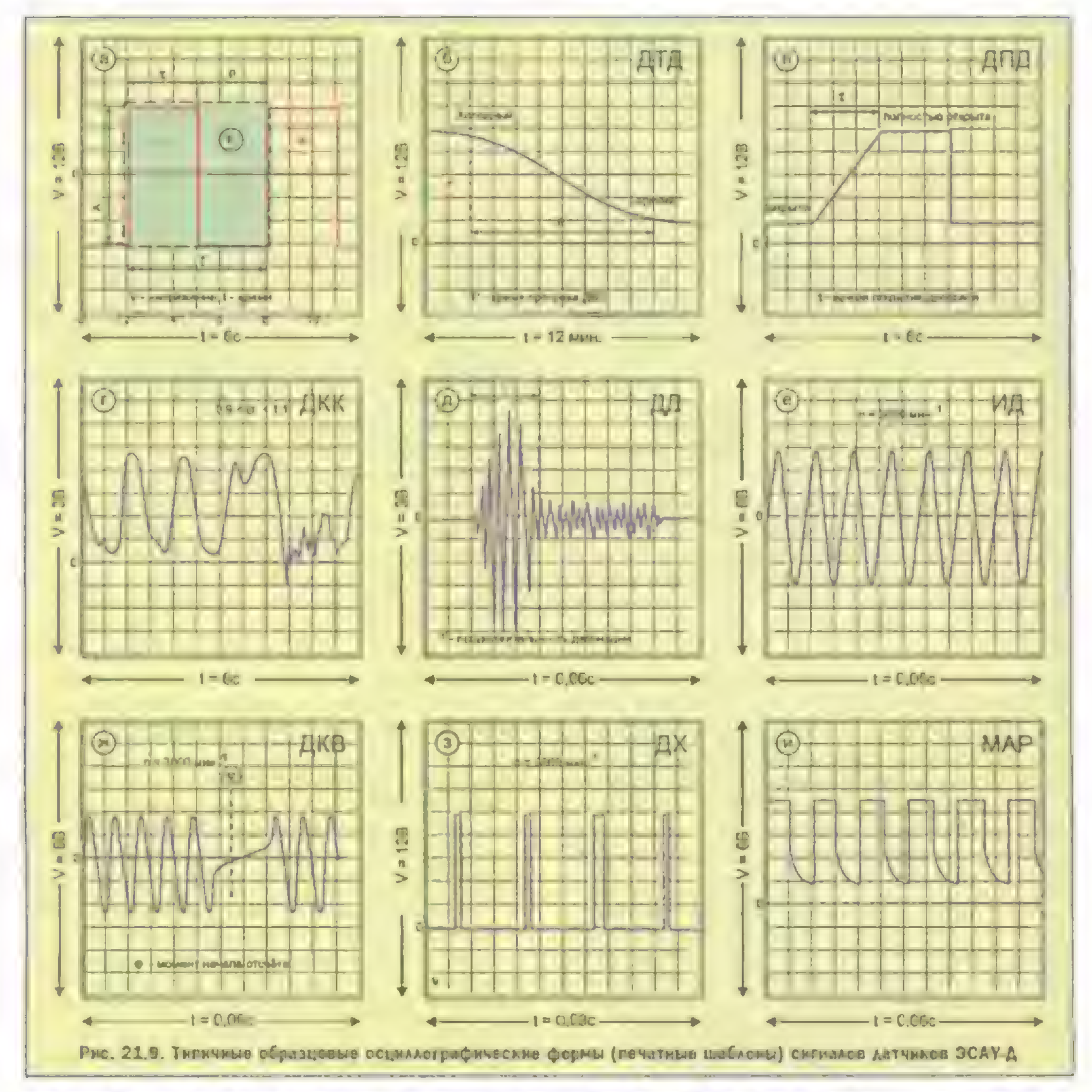


Рис. 21.9. Типичные образцовые осциллографические формы (печатные шаблоны) сигналов датчиков ЭСАУ-Д

вращения коленвала двигателя, что отчетливо наблюдается на экране осциллографа.

На рис. 21.9ж показана образцовая форма (шаблон) для сигнала индуктивного датчика ДКВ, фиксирующего положение коленчатого вала двигателя. Особенность этого датчика в том, что на зубчатом ферромагнитном диске (чувствительном элементе) датчика отсутствует один зубец (рис. 21.5, в). Это приводит к пропуску (провалу) двух полуволн на синусоидальной форме сигнала. Таким способом на зубчатом диске фиксируется то угловое положение коленвала, от которого до ВМТ первого цилиндра остается такое число угловых градусов поворота, которое заложено в программу управления.

На рис. 21.9з в виде печатного шаблона представлена типичная (образцовая) форма сигнала датчика углового положения и частоты вращения коленвала ДВС, выполненного с использованием эффекта Холла. В отличие от индуктивного, в датчике Холла сигнал импульсный, с постоянной амплитудой. Провала в последовательности импульсов нет, а импульс начала отсчета имеет увеличенную длительность. Благодаря этому электронная схема в ЭБУ легко "находит" импульс начала отсчета.

На рис. 21.9и показана осциллографическая форма сигнала с выхода генераторной электронной схемы формирования для датчика МАР абсолютного давления.

ФОРСУНКИ ВПРЫСКА ТОПЛИВА ДЛЯ БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Форсунка является основным исполнительным устройством в любой системе впрыска. Ее главная задача — распылять топливо на мелкие частицы в нужном месте впускного воздушного тракта или непосредственно в цилиндрах двигателя. Форсунки бензиновых и дизельных двигателей выполняют одинаковые функции, но по принципу действия и конструкции — это совершенно разные устройства. В данной главе описываются форсунки только для бензиновых двигателей.

22.1. Общие сведения

Форсунки впрыска бензина (ФВБ) по конструктивному устройству и по типу реализованного в них способа управления подразделяют на гидромеханические, электромагнитные, магнитоэлектрические и электрогидравлические [15]. В современных системах впрыска бензина используются в основном первые два вида.

По назначению в системе впрыска форсунки бывают пусковыми и рабочими. Рабочие форсунки делят на два вида: центральные форсунки для одноточечного импульсного впрыска и клапанные форсунки для впрыска топлива с распределением по цилиндрам. Разрабатываются рабочие форсунки для впрыска бензина под высоким давлением непосредственно в цилиндры двигателя внутреннего сгорания (ДВС).

Следует отметить, что форсунки впрыска бензина изготовляются под каждый тип двигателя индивидуально, т.е. форсунки впрыска не унифицируются и, как правило, не могут переставляться с одного типа двигателя на другой. Исключение составляют универсальные гидромеханические форсунки фирмы BOSCH для механических систем непрерывного впрыска бензина, которые широко применялись на различных двигателях в составе системы "K-Jetronic". Но и эти форсунки имеют несколько невзаимозаменяемых модификаций.

Почти все форсунки впрыска бензина содержат внутри корпуса мелкосетчатый фильтр тонкой очистки топлива, который часто является причиной нарушения работоспособности форсунки. Восстановить нормальную работу форсунки с загрязненным фильтром можно принудительной промывкой всей системы впрыска специальным многокомпонентным растворителем, который добавляют в моторное топливо (в бензин), и двигатель включают в работу на холостом ходу на 30-40 мин. В настоящее время для этой цели продаются специальные промывочные установки и растворитель. Промывка форсунки вне двигателя путем "отмачивания" в ацетоне или продувкой воздухом не эффективна.

Следует также заметить, что современные форсунки впрыска бензина неразборные и ремонту с демонтажом на детали не подлежат.

* *В зарубежной литературе форсунка впрыска топлива называется инжектором.*

22.2. Гидромеханические форсунки

Гидромеханические форсунки (ГМ-форсунки) бывают открытого и закрытого типов. Первый тип ГМ-форсунок представляет собой жиклерные форсунки и в современных системах впрыска бензина не используется. ГМ-форсунки закрытого типа предназначены для применения в механических системах непрерывного распределенного по цилиндрам впрыска топлива на бензиновых ДВС. Такие форсунки не имеют электрического управления. Они открываются под напором бензина, а закрываются возвратной пружиной. Давление напора бензина, при котором закрытая форсунка открывается, называется начальным рабочим давлением (НРД) форсунки и обозначается как $P_{фн}$. ГМ-форсунки закрытого типа устанавливаются в предклапанных зонах впускного коллектора для каждого цилиндра в отдельности.

По конструкции закрытые форсунки могут различаться устройством запорного клапана и способом крепления в литом корпусе впускного коллектора. По типу запорного устройства закрытые форсунки подразделяют на форсунки со сферическим, дисковым и штифтовым клапаном; по способу крепления — на вставные и резьбовые (рис. 22.1).

Закрытые ГМ-форсунки в дозировании топлива участия не принимают. Их главная функция — распылять бензин на горячие впускные клапаны двигателя. При этом распыленные частицы бензина переходят в парообразное состояние, а впускной клапан охлаждается. Чтобы не было соприкосновения струи бензина со стенками предклапанной зоны впускного коллектора, бензин распыляется с раскрывом на угол не

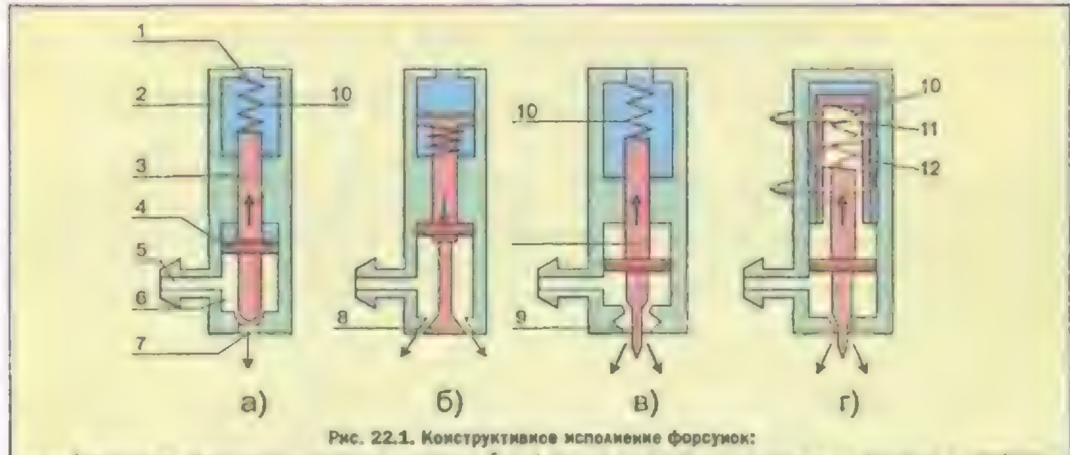


Рис. 22.1. Конструктивное исполнение форсунок:
а — форсунка со сферическим запорным клапаном; б — форсунка с дисковым клапаном; в — форсунка с штифтовым (игольчатым) клапаном; г — модель электромагнитной форсунки; 1 — сапун; 2 — корпус; 3 — шток (подвижный стержень) запорного клапана; 4 — уплотнительное кольцо; 5 — входной штуцер; 6 — рабочая клапанная полость; 7 — прямоточное распылительное сопло; 8 — конусное распылительное сопло; 9 — сопло с турбулентной полостью; 10 — возвратная пружина; 11 — обмотка катушки соленоида; 12 — магнитопровод соленоида.

более 35°, а форсунка по отношению к клапану устанавливается по строго заданной геометрии (рис. 22.2).

Дозирование топлива в механической системе впрыска производится изменением напора бензина у постоянно открытого распылительного сопла форсунки. При этом давление напора формируется давлением вне форсунки — в дифференциальном клапане дозатора-распределителя механической системы впрыска.

Для того чтобы клапан форсунки закрытого типа находился в состоянии "открыто", давление бензина в клапанной полости 6 (см рис. 22.1) должно быть все время несколько выше усилия $P_п$ возвратной пружины 10 ($P_{фн} > P_п$).

Рис. 22.2. Установка форсунки в предклапанную зону впускного коллектора:
1 — впускной коллектор; 2 — форсунка впрыска бензина; 3 — прокладка; 4 — впускной клапан; 5 — предклапанная зона в головке блока цилиндров ДВС; 6 — камера сгорания.

Это достигается заданием достаточно высокого (не менее 6 бар) рабочего давления P_s (РДС) в системе (в топливоподающей магистрали до дозатора-распределителя) и поддержанием РДС на постоянном уровне.

Основными параметрами закрытой форсунки являются пять показателей.

1. Начальное рабочее давление $P_{фн}$ (НРД) форсунки сразу после ее сборки на заводе-изготовителе (давление открывания новой форсунки). НРД для закрытых форсунок разных модификаций лежит в пределах 2,7...5,2 кг/см^2. Для новых форсунок из одного типоразмерного ряда НРД может отличаться не более чем на ±20%. При подборе комплекта форсунок на двигатель различие НРД не должно превышать ±4%. В продажу (как запчасти) форсунки поступают с одинаковым НРД в упаковке. Замена форсунок неполным комплектом может стать причиной нарушения нормальной работы двигателя.

2. Минимальное рабочее давление $P_{ф\ min}$ (МРД) форсунки после ее приработки на двигателе (после 5000 км пробега). Это давление становится меньше НРД новой форсунки на 15...20% и стабилизируется (за 5 лет нормальной эксплуатации изменяется не более чем на 5%).

3. Рабочее давление $P_ф$ форсунки после ее приработки. Это изменяющееся во время работы двигателя давление во внутренней полости форсунки от минимального рабочего давления $P_{ф\ min}$ (МРД) до максимального значения рабочего давления $P_{s\ max}$ (РДС) в механической системе впрыска ($P_{ф\ min} \le P_ф \le P_{s\ max}$).

4. Давление отсечки форсунки P_o (ДОТ). Это давление, ниже которого форсунка надежно закрыта (иногда называется давлением слива). Давление отсечки всегда меньше $P_{ф\ min}$ на 1,0...1,5 кг/см^2, но несколько больше остаточного давления $P_{ост}$ в системе впрыска сразу после выключения двигателя ($P_{ост} < P_o < P_{ф\ min}$).

5. Производительность $П_ф$ форсунки. Это количество бензина, которое распыляется через постоянно открытую форсунку за единицу времени при определенном рабочем давлении $P_ф$ в полости форсунки. Обычно $П_ф$ закрытой форсунки задается для двух крайних значений рабочего давления: $P_{ф\ min}$ и $P_{ф\ max}$. Этим двум значениям соответствуют два режима работы двигателя: $P_{ф\ min}$ — холостому ходу, $P_{ф\ max}$ — полной нагрузке. Производительность $П_ф$ задается в см^3/мин или в гр/с. Например, для закрытых форсунок 5-ти цилиндрового ДВС автомобиля AUDI-100 (2,2 л, 140 л/с) показатели производительности соответственно равны 30 и 90 см^3/мин (при работе в системе "K-Jetronic").

Рис. 22.3. Рабочая клапанная форсунка закрытого типа (гидромеханическая):
а — внешний вид форсунки; б — форсунка в разрезе; в — форсунка с присоединительной резьбой (M10×1,0): 1 — нижний резиновый фиксатор; 2 — корпус форсунки; 3 — точечная вмятина для фиксации сетчатого фильтра внутри форсунки; 4 — маркировка; 5 — верхний резиновый фиксатор; 6 — стопорная проточка; 7 — уплотнитель фиксатора; 8 — шестигранник под ключ S13; 9 — резьба M12×1,5 (до 1978 г.) и M10×1,0 (после 1978 г.) для подсоединения штуцера топливоподающей магистрали; 10 — топливный вход форсунки; 11 — внутренний топливный канал; 12 — мелкосетчатый фильтр; 13 — опорная тарелочка возвратной пружины запорного клапана форсунки; 14 — внутренняя полость клапана; 15 — возвратная пружина; 16 — седло запорного клапана (снизу завальцовано при сборке форсунки); 17 — дисковый запорный клапан форсунки (открывается напором бензина — вниз); 18 — струя распыла бензина; 19 — фирменный переходник VAG 1349/1 BOSCH для подсоединения контрольного прибора при 10; 20 — шестигранник под ключ S12, резьба на форсунке M10×1,0 (после 1978 г.); 21 — распылительное сопло

Вышедшие из строя форсунки закрытого типа ремонту не подлежат, но, как и любые другие, могут быть "промыты" в составе системы впрыска на работающем двигателе.

На рис. 22.3 показана конструкция рабочей клапанной форсунки закрытого типа фирмы BOSCH для механических систем впрыска бензина "К" и "KE-Jetronic". В форсунке применен дисковый запорный клапан 17 и прямоточная подача топлива через сетчатый фильтр 12. Когда давление во внутренней полости 14 становится выше $P_{ф\ min}$, тарелочка запорного клапана опускается вниз и форсунка открывается. Она будет открыта до тех пор, пока давление не упадет ниже указанного значения*.

22.3. Электромагнитные форсунки

Электромагнитные форсунки применяются в современных системах впрыска бензина в качестве клапанных рабочих и пусковых форсунок (для систем распределенного по цилиндрам впрыска с электронным управлением), а также в качестве центральных форсунок впрыска (в системах питания с моновпрыском). Центральная форсунка наиболее распространенной конструкции для систем впрыска бензина группы "Mono" подробно описана ранее (см. главу 14).

На рис. 22.1, г показана модель электромагнитной форсунки впрыска в упрощенном виде. Как видно из чертежа, электромагнитная форсунка (ЭМ-форсунка) отличается от закрытой гидромеханической (см. рис. 22.3) тем, что шток запирающего элемента клапана (внутренний подвижный стержень 3 на рис. 22.1) помещен в катушку 11 электромагнитного соленоида. Таким образом, стержень 3, который выполняется из магнитомягкого материала, и катушка 11 соленоида с магнитопроводом 12 образуют электромагнит с подвижным стержнем внутри катушки. Теперь запирающий клапан форсунки может открываться не под воздействием давления топлива (как в

* *Когда механическая система впрыска бензина работает при минимальных оборотах холостого хода прогретого ДВС, давление в полости гидромеханической форсунки незначительно превышает давление $P_{ф\ min}$. Это приводит к тому, что запорный клапан форсунки начинает работать в вибрационном режиме.*

ГМ-форсунке), а под воздействием электрического тока, протекающего по катушке. Закрытие клапана в ЭМ-форсунке, как и в ГМ-форсунке, реализуется возвратной пружиной 10. Форсунки, имеющие принудительное электромагнитное управление запорным клапаном, позволяют создавать системы впрыска бензина с управлением от электронной автоматики (от ЭБУ). При этом ЭМ-форсунки не только распыляют топливо в нужном месте впускного коллектора, но и дозируют его количество при впрыске. При подаче напряжения $U_ф$ на обмотку 11 (см. рис. 22.1), которая имеет омическое сопротивление $R_ф$, по ней начинает протекать ток $I_ф = U_ф/R_ф$. Если намагничивающая сила j_s магнитного поля соленоида с числом витков W_s в катушке ($j_s = I_ф W_s$) превысит силу F_n упругости возвратной пружины 10, то запорный клапан форсунки откроется. При этом ($j_s > 1{,}5...2\ F_n$) форсунка сработает на впрыск бензина, так как он находится в полости 6 (см. рис. 22.1) форсунки под определенным внутренним давлением $P_ф$. Впрыск будет происходить до тех пор, пока форсунка открыта, т.е. до тех пор, пока по обмотке 11 соленоида протекает ток $I_ф$, достаточный для удержания ферромагнитного стержня во втянутом в катушку соленоида состоянии. Однако следует заметить, что скорость открывания и закрытия форсунки зависит не только от формы и амплитуды электрического импульса, вызывающего срабатывание форсунки, но и ряда ее электромеханических параметров. Так, инерционность форсунки обусловлена индуктивностью L_s катушки соленоида, магнитными свойствами μ_s и массой M_s ферромагнитного стержня 3, массой других подвижных частей, упругостью возвратной пружины 10 и т.п. Для уменьшения степени влияния указанных причин на быстродействие форсунки индуктивность L_s и массу M_s стержня 3, а также упругость возвратной пружины 10 стремятся свести к минимуму. Но это допустимо только до определенных пределов. Так, например, желание уменьшить индуктивность L_s приводит к необходимости уменьшения числа витков W_s катушки соленоида, что тут же сказывается на величине намагничивающей силы $j_s = I_ф W_s$. Казалось бы, величину j_s, которая падает при уменьшении W_s, можно повысить увеличением тока $I_ф$, но и эта мера ограничена, так как при одновременном параллельном включении нескольких форсунок (на многоцилиндровом двигателе) ток управления от ЭБУ становится недопустимо большим. Сделать ферромагнитную массу M_s стержня 3 (главная подвижная деталь форсунки) очень малой также невозможно, так как она определяет степень магнито-механического взаимодействия между магнитным полем соленоида и ферромагнитным керном (подвижным стержнем). Чрезмерное уменьшение упругости возвратной пружины нецелесообразно, так как ее обратное (запорное) действие ослабевает.

Таким образом, сложность создания работоспособных ЭМ-форсунок на начальных этапах конструирования всегда сводится к поиску наиболее оптимальных компромиссов между указанными противоречиями и требуемыми параметрами форсунки.

Современные ЭМ-форсунки способны надежно срабатывать со скважностью* $S = 0{,}5$ и при этом устойчиво (управляемо) удерживать открытое состояние в течение 2...2,5 мс. Разброс этого параметра в конкретном типоразмерном ряде форсунок не более ±5%. Такой быстроте срабатывания ЭМ-форсунки отвечает частота возвратно-поступательного движения подвижного стержня электромагнита форсунки в 200...250 c^{-1}. Это является пределом возможного для данного типа электроуправляемых форсунок.

При применении ЭМ-форсунок в качестве клапанных рабочее давление P_s в системе впрыска может быть понижено с 6,5 бар (в механических системах) до 4,8...5 бар, что повышает надежность работы

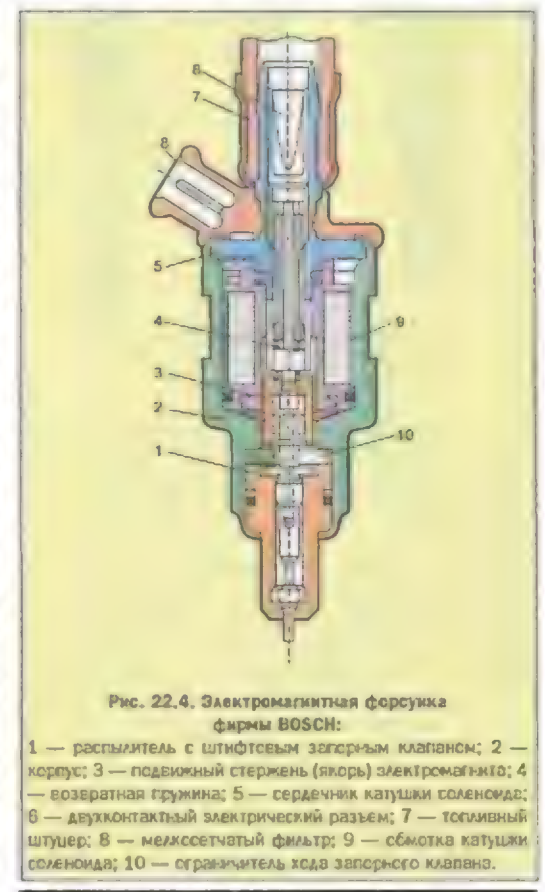


Рис. 22.4. Электромагнитная форсунка фирмы BOSCH:
1 — распылитель с штифтовым запорным клапаном; 2 — корпус; 3 — подвижный стержень (якорь) электромагнита; 4 — возвратная пружина; 5 — сердечник катушки соленоида; 6 — двухконтактный электрический разъем; 7 — топливный штуцер; 8 — мелкосетчатый фильтр; 9 — обмотка катушки соленоида; 10 — ограничитель хода запорного клапана.

* *Скважность (S) — отношение длительности (t) действия к периоду (T) повторения этого действия, S = t/T (величина безразмерная).*

электробензонасоса и понижает вероятность протечек топлива в уплотнительных соединениях бензомагистралей.

При электронном управлении форсунками точность дозирования впрыснутого бензина значительно повышается. Это становится возможным потому, что давление внутри ЭМ-форсунки поддерживается постоянным, и количество впрыснутого топлива определяется только временем открытого состояния форсунки.

Основными параметрами ЭМ-форсунки являются:

1. Постоянное рабочее давление в полости форсунки (РДФ), равное рабочему давлению P_s системы, выраженное в бар.

2. Производительность форсунки (пропускная способность в открытом состоянии — в см³/мин или в г/с при заданном P_s РДС).

3. Минимальное напряжение надежного срабатывания форсунки (постоянное напряжение в вольтах).

4. Минимальное время цикловой подачи топлива (минимальное надежно управляемое время продолжительности открытого состояния форсунки — в мс).

5. Внутреннее омическое сопротивление $R_ф$ форсунки (сопротивление катушки соленоида — в омах).

На корпусе форсунки набивается цифровой код (см. рис. 22.3, а), по которому в справочном каталоге можно определить все вышеперечисленные параметры. На корпусе выбивается также торговый знак или название фирмы-изготовителя.

О внутреннем омическом сопротивлении $R_ф$ форсунки следует сказать отдельно. Если катушка соленоида намотана медным проводом, то получить величину $R_ф$ более 2...3 Ом невозможно (накладывается требование минимизации индуктивности L_s катушки). В таком случае для ограничения величины рабочего тока $I_ф$ форсунки последовательно с катушкой соленоида включают дополнительный резистор. Применяют также обмоточный провод с высоким удельным сопротивлением (для катушки соленоида), что исключает необходимость установки дополнительных резисторов. Но в любом случае общий средний ток управления сразу всеми форсунками (или группой форсунок) впрыска на двигателе не должен превышать значения 3...5 А. В некоторых случаях на многоцилиндровых двигателях применяют "групповое" управление форсунками. Это когда форсунки объединены в группы, а каждая группа управляется от отдельного электронного блока. Но наиболее эффективной является система впрыска бензина, в которой каждая рабочая клапанная ЭМ-форсунка управляется независимо от других (последовательный синхронизированный распределенный по цилиндрам импульсный впрыск бензина с управлением от многоканального ЭБУ впрыском).

По типу запирающего клапана ЭМ-форсунки, как и гидромеханические, подразделяют на три вида:

— форсунки со сферическим профилем запорного элемента;

— форсунки с штифтовым клапаном (с конусным или игольчатым запорным стержнем);

— форсунки с дисковым клапаном (с плоским или тарельчатым запорным элементом).

На рис. 22.4 показана конструкция ЭМ-форсунки фирмы BOSCH с подробной деталировкой. Как и все форсунки фирмы BOSCH, эта форсунка прямоточная и с внутренним мелкосетчатым фильтром 8. Соленоидный электромагнит образован катушкой 9 и втягивающимся якорем (керном) 3.

Выпускаются форсунки с внутренним электрическим сопротивлением 2,4 Ом; 12,5 Ом; 16 Ом. Малое сопротивление связано с применением обмоточного провода из меди и с необходимостью иметь малую величину индуктивности L соленоида, которая прямо зависит от числа витков W_c обмотки соленоида.

Низкое сопротивление форсунки увеличивают дополнительным сопротивлением в 6...8 Ом, что уменьшает потребляемый ток. Обмотки высокоомной форсунки выполнены из провода с большим удельным сопротивлением (например, из латуни), что позволяет иметь малое L и большое R.

По производительности П впрыска форсунки подбирают по типам и мощности тех двигателей, на которые эти форсунки устанавливаются. Производительность форсунки определяется под рабочим давлением системы, как количество $K_в$ бензина, прошедшего через форсунку за единицу времени t, если она постоянно открыта.

В таблице 22.1 приведены данные ряда электромагнитных клапанных форсунок иностранного производства.

Таблица 22.1

№	Тип форсунки	R (Ом)	Кв	t	П
1	[illegible]	16	[illegible] + 4 см³	мин	[illegible]
2	[illegible]	2,4	[illegible] + 7 см³	мин	[illegible]
3	[illegible]	12,5	[illegible]	[illegible]	[illegible]

22.4. Пусковые электромагнитные форсунки

К электромагнитным форсункам относятся и пусковые гидроклапаны с электромагнитным управлением, которые по принципу действия мало чем отличаются от ЭМ-форсунок. Именно поэтому пусковые гидроклапаны чаще называют пусковыми форсунками.

Основное назначение пусковой форсунки (ПС-форсунки) — это работа в механической системе непрерывного распределенного впрыска во время запуска холодного двигателя. Иногда ПС-форсунка используется как форсажное устройство, наподобие ускори-

твльного насоса в карбюраторе, или как устройство для запуска перегретого двигателя с турбонаддувом. Пусковая форсунка применяется и в некоторых системах впрыска группы "L". В любом случае ПС-форсунка работает непосредственно от бортсети автомобиля, а в систему электронного управления двигателем включается опосредованно через специальное электронное реле управления.

К ПС-форсункам требования высокой скорости срабатывания не предъявляются, что значительно упрощает конструктивное исполнение ее составных компонентов. Так, масса якоря электромагнита, который (якорь) одновременно является и запирающим элементом клапана форсунки, число витков катушки электромагнита, сечение распылительного сопла, упругость возвратной пружины — все это заметно увеличено по сравнению с рабочей клапанной ЭМ-форсункой.

На рис. 22.5 показаны пусковая форсунка в разрезе, термореле времени и схема их соединения. В отличие от клапанных форсунок пусковая может устанавливаться на впускном коллекторе жестко и без теплоизоляции, так как ее работа не подвержена заметному влиянию температуры. ПС-форсунка надежно срабатывает от напряжения бортсети даже тогда, когда оно падает до 6 В. ПС-форсунка к положительному потенциалу бортсети подключается стартерными контактами в замке зажигания, а к "массе" автомобиля — через термореле времени (рис. 5, б), которое установлено в "водяной рубашке" ДВС. Если температура охлаждающей жидкости в двигателе выше +10°С, то в термореле времени размыкаются контакты 10 на биметаллической пластине и ПС-форсунка обесточивается. При температуре ДВС ниже +10°С контакты 10 в термореле замыкаются, чем пусковая форсунка подготавливается к работе при запуске двигателя. Особенностью распылительного сопла пусковой форсунки является наличие в нем турбулентной полости (центробежный распылитель 4 на рис. 22.5, а), которая придает струе бензина вихревое вращение. Благодаря этому бензин эффективно перемешивается с воздухом при относительно низком давлении в струе.

Рис. 22.5. Пусковая форсунка (а), термореле времени (б) и схема их соединения (в):
1 — контактная колодка; 2 — сетчатый фильтр; 3 — корпус; 4 — центробежный распылитель; 5 — затворный клапан (якорь электромагнита); 6 — обмотка электромагнита; 7 — возвратная пружина; 8 — биметаллическая пластина; 9 — подогреватель; 10 — контактная пара; 11 — контакт на "массу".

22.5. Форсунка закрытого типа с плунжерным насосом

Ведутся исследования в направлении поиска принципиально новых способов впрыска бензина с помощью форсунок. Испытаны так называемые маг-

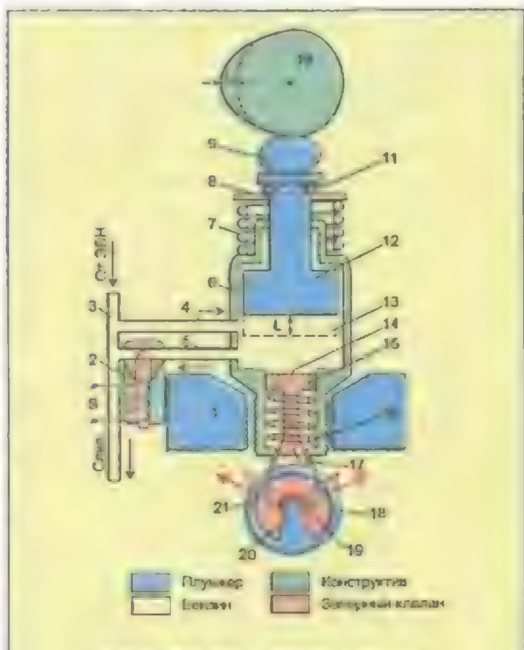


Рис. 22.6. Насос-форсунка (модель):
1 — фрагмент блока цилиндров в зоне камеры сгорания; 2 — магнитоэлектрический гидроклапан в сливном канале; 3 — главная бензомагистраль; 4 — подающая бензомагистраль; 5 — сливной канал (обратная бензомагистраль); 6 — корпус насос-форсунки; 7 — возвратная пружина плунжера; 8 — опорная тарелочка пружины плунжера; 9 — толкатель плунжера; 10 — кулачок распредвала; 11 — запорное кольцо опорной тарелочки; 12 — поршень плунжерного насоса; 13 — рабочая полость насос-форсунки; 14 — гидромеханическая форсунка закрытого типа высокого давления (100-150 бар); 15 — перепускной канал из полости плунжерного насоса в полость форсунки; 16 — возвратная пружина запорного клапана форсунки; 17 — дисковый запорный клапан форсунки; 18 — свеча зажигания (СЗ); 19 — центральный электрод СЗ; 20 — боковой электрод; 21 — конус (струя) распыленного бензина; L — ход плунжера.

нитоэлектрические форсунки, которые отличаются высоким быстродействием (0,5 мс), так как работают с принудительным высокочастотным (до 1000 c^{-1}) переключением полярности магнитного поля в катушке соленоида.

Перспективными считаются также форсунки закрытого типа с дополнительным электромагнитным управлением (электрогидравлические).

В системах впрыска бензина группы "Д" (впрыск в камеру сгорания) используется насос-форсунка закрытого типа с плунжерным насосом высокого давления, который приводится в действие от кулачка распредвала (рис. 22.6).

Насос-форсунка оснащен сливным каналом с быстродействующим электрогидравлическим клапаном. Комбинация — плунжерный насос, закрытая гидромеханическая форсунка, электроуправляемый от электронной автоматики сливной канал — дает возможность реализовать так называемый "послойный впрыск бензина" непосредственно в камеру сгорания ДВС. Это обеспечивает значительную экономию топлива за счет работы двигателя на очень бедных ТВ-смесях ($\alpha = 2,0$), а также повышает ряд его эксплуатационных показателей.

При послойном впрыске цикловая подача бензина непрерывно дифференцируется по времени посредством управления давлением в рабочей полости насос-форсунки (под плунжером). Давление регулируется электроуправляемым гидроклапаном в сливном канале. Суть послойного впрыска топлива состоит в его подаче отдельными, строго дозированными порциями. Получается так: за один цикл впрыска бензин подается прямо в цилиндр не сплошной однородной струей, а несколькими частями, каждая из которых образует "свой" коэффициент избытка воздуха α. В объеме цилиндра образуется "послойный пирог" из ТВ-смеси разной концентрации. Преимущество послойного впрыска бензина состоит в том, что в первый момент воспламенения в зону центрального электрода свечи зажигания подается нормальная (стехиометрическая) ТВ-смесь с $\alpha = 1$, которая легко возгорается. Далее процесс горения топлива в очень бедной ТВ-смеси ($\alpha = 2,0$) поддерживается за счет "открытого огня", образовавшегося в первый момент воспламенения. Однако система впрыска бензина с насос-форсунками обладает двумя существенными недостатками: она содержит дорогостоящие и очень сложные механические устройства, а также способствует появлению значительных количеств оксидов азота (NO_x) в выхлопных отработавших газах двигателя, бороться с которыми крайне сложно. Тем не менее система выпускается фирмой TOYOTA для двигателей TD4 легковых автомобилей (см. главу 18).

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОБЕНЗОНАСОС

Любая современная система впрыска бензина обязательно содержит в подсистеме топливоподачи электробензонасос. Это устройство может устанавливаться как непосредственно в бензобаке, так и вне бензобака, но рядом с ним. В любом случае весь поток бензина протекает не только через нагнетатель, но и через внутреннюю полость приводного электродвигателя. Электробензонасосы бывают одно- и двухступенчатые и разрабатываются под каждый тип системы впрыска индивидуально. В данной главе детально рассмотрен электробензонасос погружного типа, предназначенный для работы в системах впрыска бензина группы "К".

Любая система впрыска топлива, которая устанавливается на современном автомобильном двигателе внутреннего сгорания, снабжена бензонасосом с приводом от электродвигателя (ЭДВ) постоянного тока [16]. Электробензонасос может быть расположен либо вне бензобака, но рядом с ним под днищем кузова, либо непосредственно в бензобаке, где, в таком случае, он будет погружен в бензин.

В качестве примера рассмотрим устройство и принцип действия погружного электробензонасоса серии 0580254 фирмы BOSCH, который используется во всех модификациях системы впрыска топлива "K-Jetronic".

На рис. 23.1 приведено схематическое изображение конструкции электробензонасоса. Его приводной частью является ЭДВ постоянного тока с двумя постоянными магнитами 6, расположенными на статоре, и с 12-ти секционной рабочей обмоткой, намотанной на 12-ти пазном якоре 8. Якорь барабанного типа. Якорная обмотка петлевая, короткозамкнутая, по отношению к внешней электрической цепи — разделена щетками на две параллельные ветви. Всего в обмотке 288 витков медного провода диаметром 0,6 мм, по 24 витка в каждой секции. Два статорных магнита создают постоянное магнитное поле B' с полюсами N и S, которое пронизывает магнитные массы и витки якоря ЭДВ. Коллектор 4 имеет 12 ламелей, которые попарно соединены с бортовой электрической сетью напряжением 12 В посредством подпружиненных щеток 5 и двух внешних электроклемм 3. Щетки к клеммам подсоединены многожильным гибким медным проводом. Клеммы выведены за пределы корпуса бензонасоса (обозначены соответственно "+" и "–") и имеют герметическое уплотнение.

Электробензонасос устанавливается на переходную площадку, посредством которой он крепится к бензобаку. А приемный торец электробензонасоса с сетчатым фильтром 16 грубой очистки топлива опускается точно в выемку 19 днища бензобака. Рабочее положение электробензонасоса BOSCH-0580254 вертикальное.

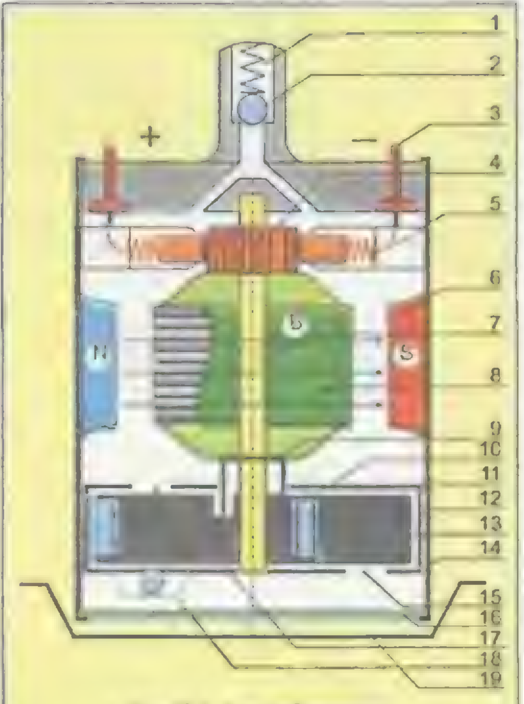


Рис. 23.1. Электробензонасос:
1 — выходной штуцер; 2 — обратный клапан; 3 — электроклемма; 4 — коллектор; 5 — щеткодержатель с пружиной и щеткой; 6 — статорный постоянный магнит; 7 — неподвижная ось для якоря ЭДВ и для ротора насоса; 8 — якорь ЭДВ; 9 — сцепная вилочка; 10 — центробежный ролик; 11 — крышка нагнетателя с выпускной щелью; 12 — статор нагнетателя с эксцентрической цилиндрической полостью; 13 — ротор нагнетателя с пятью центробежными роликами; 14 — донце нагнетателя с входной щелью; 15 — входная щель; 16 — сетка фильтра грубой очистки топлива; 17 — выпускная щель; 18 — клапан сброса; 19 — выемка в днище бензобака.

Электродвигатель рассчитан на рабочее напряжение 12 В и в нагруженном режиме потребляет ток до 6 А. Мощность электродвигателя примерно 80 Вт.

Принцип действия ЭДВ можно объяснить с помощью рис. 23.2.

На клеммы +К и –К подается напряжение 12 В от бортовой сети автомобиля через схему управления электробензонасосом. Эта схема включает ЭДВ бензонасоса в момент пуска двигателя внутреннего сгорания (ДВС) на 3...5 с, а во время работы ДВС удерживает его постоянно включенным. Если ДВС заглохнет при включенном зажигании, схема управления отключает электробензонасос от бортовой сети до следующего пуска ДВС.

Под действием бортового напряжения 12 В по виткам рамки R якоря ЭДВ начинает протекать пусковой ток $I'_я$. Этот ток, согласно закону Ома равный $U_C/R_я$ (где U_C — напряжение бортовой сети, $R_я$ — омическое сопротивление обмотки якоря), вступает в электромагнитное взаимодействие с магнитным полем В' постоянного магнита статора. Как следствие, на рамку R начинают действовать две механические силы F1 и F2, каждая из которых (согласно закону электромагнитной индукции) определяется по формуле: $F = BLI \cos\alpha$, где L — активная длина витка рамки R; B — индукция магнитного поля; α — угол поворота рамки R относительно направления поля В'. Направление действия силы F легко определяется по правилу левой руки.

Силы F1 и F2, приложенные в противоположных направлениях к оси вращения якоря, образуют вращающий момент $M_я$, который посредством сцепной вилочки (рис. 23.1, поз. 9) передается ротору шиберного бензонасоса. Момент определяется по формуле: $M_я = (F1 + F2)\ r$, где r — приведенный радиус якоря.

Следует заметить, что сцепная вилочка выполнена из жесткой, но ломкой пластмассы и при заклинивании ротора бензонасоса (например, при замерзании зимой случайно попавшей в бензобак влаги) должна сламываться, предотвращая тем самым короткое замыкание ЭДВ насоса.

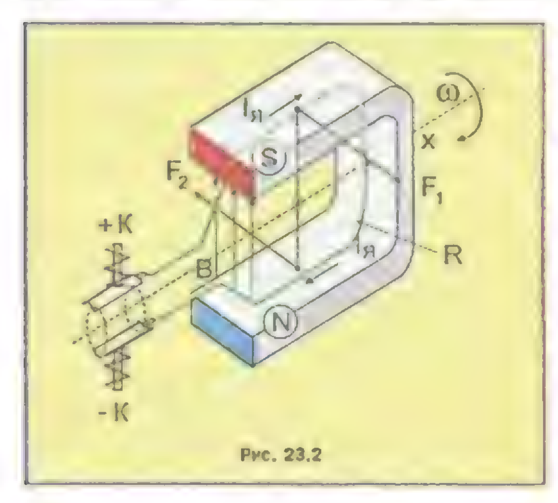


Рис. 23.2

После пуска электродвигателя ток якоря $I_я$ значительно уменьшается ($I'_я \approx 3\ I_я$). Это явление имеет место потому, что, во-первых, якорь сам становится вращающимся постоянным магнитом и силой этого магнита ослабляет магнитное поле В' статора электродвигателя (реакция якоря), во-вторых, ток Iя при работе электродвигателя ослабляется противоэлектродвижущей силой и постоянно переключается по виткам якоря коллекторно-щеточным механизмом (КЩМ), за счет чего его среднее значение становится меньше тока заторможенного якоря.

Частота вращения якоря ЭДВ, а следовательно, и ротора насоса, не регулируется, так как зависит только от приложенного к клеммам ЭДВ напряжения и в незначительной степени от механической нагрузки на ось.

Новый электробензонасос BOSCH-0580254 при напряжении 12 В может развивать давление на заглушенном выходном штуцере (рис. 23.1, поз. 1) до 7,8 бар. Клапан сброса (рис. 23.1, поз. 18) оттарирован на 6,8 бар. При этом электродвигатель насоса вращается с частотой до 100 об/с. Производительность насоса около 1,8 $дм^3$/мин, что значительно выше потребления топлива двигателем внутреннего сгорания в форсированном режиме.

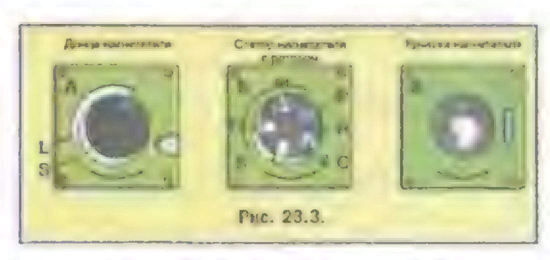
Для поддержания требуемого давления в системе и для сброса излишнего бензина обратно в бензобак все системы питания современных ДВС оборудованы обратным бензопроводом и регулятором давления в рабочей топливной магистрали, благодаря чему давление, развиваемое бензонасосом, поддерживается постоянным (для BOSCH-0580254 около 6 бар).

Бензоподающим устройством электробензонасоса является шиберный гидронагнетатель (рис. 23.1, поз. 10-15), который работает по принципу проталкивания отдельных порций бензина центробежными роликами через эксцентрическую насосную полость.

Основные составные части шиберного бензонасоса (рис. 23.3) следующие: ротор R с роликами Р, статор С с эксцентрической насосной полостью S, донце А с впускной щелью L и крышка В с выпускным отверстием М.

В собранном виде центробежный насос представляет собой трехслойный пакет, в средней части которого между крышкой В и донцем А образована главная насосная полость S, эксцентрично сдвинутая относительно центра вращения ротора R, в которой и вращается ротор R с роликами Р.

Работает центробежный гидронагнетатель следующим образом. Ротор нагнетателя приводится во вращение вышеописанным способом. Под действием центробежных сил все ролики нагнетателя плотно прижимаются к стенке эксцентрической статорной полости и


Рис. 23.3.

начинают кататься по стенке. Эта полость является главной насосной полостью нагнетателя. Там, где ротор нагнетателя вплотную подходит к стенке насосной полости (рис. 23.3, б, поз. Р1), ролики почти полностью утапливаются в направляющие пазы. Там, где зазор между ротором и статором нагнетателя максимален (рис. 23.3, б, поз. Р2), центробежные ролики выступают из пазов почти на половину своего диаметра. Таким образом через впускную щель (рис. 23.3, а, поз. L) насосной полости S происходит захват очередной порции бензина очередным набежавшим роликом. Эта порция интенсивно проталкивается в выпускное отверстие (рис. 23.3, в, поз. М) крышки нагнетателя и оттуда вверх, через все детали электродвигателя, к выходному штуцеру электробензонасоса (рис. 23.1, поз. 1).

Бензин не проводит электрический ток, но беспрепятственно пропускает магнитные силовые линии. Поэтому на электромагнитные процессы в ЭДВ бензин никакого влияния не оказывает. Вязкость бензина очень низкая, поэтому гидромеханическое сопротивление слоев бензина, протекающих через рабочий «воздушный» зазор ЭДВ, незначительно.

Прокачка бензина через «внутренности» электродвигателя повышает его надежность. Имеет место постоянная и эффективная промывка КЩМ и смазка проточным бензином оси вращения, на которой вращаются ротор нагнетателя и якорь ЭДВ.

В конструкции электробензонасоса нет подшипников качения. А втулки скольжения с плотной посадкой на ось лучше работают с жидкой смазкой — бензином. Помимо сказанного, бензин интенсивно охлаждает электродвигатель, который никогда не перегревается. Как следствие, электробензонасосы с прокачкой бензина через внутреннюю полость электродвигателя обеспечивают работу ДВС до 200 тыс. км пробега.

Следует заметить, что расположение электродвигателя бензонасоса в бензобаке на первый взгляд вызывает недоумение. Действительно, хорошо известно, что в КЩМ электродвигателя может возникать интенсивное искрение. Это может стать причиной взрыва бензобака, когда он пустой, а концентрация паров бензина соответствующая. Однако фирма BOSCH выпускает погружные электробензонасосы более 30 лет, а случаев взрывов бензобака не зарегистрировано. Объясняется этот феномен так: электроконтактная пара "щетка-ламель" не искрит, так как, во-первых, работает в режиме переключателя малых энергий без разрыва цепи тока, во-вторых, ее компоненты изготовлены из специально подобранных электропроводных материалов, и, в-третьих, в ЭДВ с короткозамкнутой петлевой обмоткой на якоре искрение в КЩМ ограничено встречно-параллельным соединением рабочих ветвей якорной обмотки на щетках. Кроме этого, бензонасос и его ЭДВ при работе постоянно наполнены бензином, искрение в котором практически невозможно. За счет герметичности в системе топливного питания в бензонасосе бензин или его чрезмерно богатая смесь присутствуют даже тогда, когда бензобак пустой.

Таким образом, вероятность взрыва бензобака от присутствия в нем электробензонасоса практически сведена к нулю.

В заключение следует сказать несколько слов о неисправностях электрических бензонасосов серии BOSCH-0580254, о способах их обнаружения и устранения.

Электродвигатель бензонасоса отказывает крайне редко. Как уже отмечалось, объясняется это тем, что он работает в режиме интенсивного охлаждения бензином, а также постоянно им промывается.

Чаще всего выходит из строя центробежный шиберный гидронагнетатель. За счет перетирания мельчайших твердых частиц, которые попадают в бензобак вместе с бензином, трущиеся части нагнетателя (ротор, статор, донце, крышка и ролики) со временем значительно изнашиваются. При этом ослабевают уплотнения между ними. Это приводит к потере производительности и падению рабочего давления, развиваемого бензонасосом. Причина такой неисправности заключается в естественном старении насоса и долгое время отчетливо не проявляется. Она может быть обнаружена только на специальном проверочном стенде по падению производительности и развиваемого давления на закрытом выходном штуцере. На работе автомобиля начальное старение бензонасоса сказывается в виде потери приемистости и в виде перебоев работы ДВС в переходных режимах. При значительном износе бензонасоса давление в системе питания может упасть настолько, что ДВС перестает запускаться.

При неисправности бензонасос начинает работать с повышенным шумом, что может быть признаком не только естественного износа его нагнетателя. Этот же признак характерен и для нагнетателя с сильными задирами трущихся частей, возникающих от твердых абразивных частиц.

Такая неисправность чаще всего начинает проявляться зимой вследствие попадания в бензин влаги, из которой образуются кристаллообразные частицы льда. Эти кристаллики совместно с твердыми частицами, попадая в жернова бензонасоса, истирают и

даже надирают стенки статора, ротора, а также поверхности роликов нагнетателя до образования на них глубоких раковин. Часто и в направляющих пазах ротора имеются задиры и выработка.

Подшипники скольжения электробензонасоса и его клапаны редко изнашиваются раньше трущихся деталей нагнетателя, поэтому главной причиной нарушения нормальной работы электробензонасоса является износ трущихся частей гидронагнетателя.

Теперь о ремонте. В принципе, бензонасосы серии BOSCH-0580254, как и любые другие, ремонту не подлежат и при неисправности требуют замены. Однако практика показала, что при умелом и осторожном вскрытии завальцовки алюминиевого корпуса дальнейшие процедуры восстановительного ремонта бензонасоса не вызывают затруднений.

После вскрытия и полной разборки бензонасоса следует провести тщательный осмотр всех его деталей. В первую очередь надо определить, подлежит ли восстановлению гидронагнетатель. Если он подлежит восстановлению, то можно взяться за ремонт.

В электродвигателе следует заменить щетки, взяв их от другого такого же электробензонасоса, и проточить коллектор. Если имеются повреждения витков обмотки якоря, она может быть перемотана. При перемотке следует обратить внимание на сохранность проточных каналов для бензина в пазах якоря.

В центробежном нагнетателе, который, кстати говоря, разборный, следует прошлифовать на станке с магнитным столом трущиеся поверхности донца, ротора и крышки. Шлифовочный камень должен быть с зерном не более 50 мкм. Незначительный износ пазов ротора большого значения не имеет, их можно не обрабатывать. Однако при обратной сборке ротор шиберного насоса надо уложить в статор обратной стороной. Ролики с большими задирами необходимо заменить, подобрав их от отечественных подшипников. Если такой возможности нет, то торцы роликов следует прошлифовать в наганной оправке на магнитном столе под общий размер с ротором.

Сцепная вилочка в условиях российской зимы очень часто является причиной выхода из строя еще совершенно работоспособного бензонасоса. В принципе эта деталь несменяемая и даже несъемная. Тем не менее ее можно заменить. Для этого потребуются высококвалифицированные токарно-слесарные ремонтные работы на якоре электродвигателя.

Необходимо крайне осторожно и точно специально изготовленным резцом сточить часть пластмассового тела вилочки и на образовавшуюся проточку плотно насадить вновь изготовленную.

Зафиксировать новую вилочку можно либо стоматологическим цементом, либо микровинтами, либо и тем и другим. Изготавливать новую вилочку из пластмассы не следует, ее лучше выточить из бронзы или алюминия.

Высокое качество ремонта внутренних деталей может быть сведено на нет, если не удастся надежно завальцевать наружный стакан электробензонасоса. Как правило, вскрытие и обратная завальцовка стакана возможны только один раз и только при очень квалифицированном проведении работ. Вскрывать стакан лучше всего вручную, например, затупленной отверткой и на жестком опорном столе. Так как под завальцовкой находится резиновая прокладка в виде жгутика круглого сечения, ее надо сохранить в целости. Завальцевать стакан можно обкаткой на токарном станке. Для фиксации электробензонасоса в суппорте токарного станка и для прижатия стакана к корпусу потребуется изготовить специальную оснастку.

Из всего вышесказанного видно, что для ремонта электробензонасоса недостаточно одного желания и мастерства. Необходимо также наличие специального оборудования. Поэтому описанная технология ремонта может быть реализована только на хорошо оснащенных станциях технического обслуживания. Кроме того, на станции накапливается "обменный парк" деталей, бывших в употреблении, но еще пригодных к работе. В этих условиях качественному ремонту подлежат два электробензонасоса из трех.

Практика показала, что восстановленные электробензонасосы могут работать еще достаточно долго.

Глава двадцать четвертая

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ ТОРМОЗАМИ АВТОМОБИЛЯ

С помощью обычной тормозной системы автомобиля реализовать равномерное замедление скорости вращения всех четырех колес одновременно практически невозможно. Даже если допустить, что все колесные цилиндры сообщают тормозным барабанам (или дискам) одинаковые тормозные усилия, то и в таком случае сцепление колесных шин с автодорогой не может быть одинаковым. Всем известно к чему это может привезти при движении автомобиля по скользкой дороге. Так появилась идея — зарегистрировать неравномерность вращения колес и по полученной информации автоматически откорректировать тормозные усилия в каждом колесном тормозном цилиндре в отдельности. Таким способом можно уровнять скорости вращения всех четырех колес и повысить безопасность движения автомобиля при интенсивном торможении.

На серийных легковых автомобилях автоматическое управление гидравлическими тормозами стало применяться в конце 70-х годов, и первой была система антиблокировки колес (ABS). По мере накопления опыта эксплуатации системы ABS стало ясно, что с помощью автоматического управления тормозами можно реализовать целый ряд совершенно новых способов управления движением автомобиля. Описанию систем автоматического управления гидравлическими тормозами посвящена данная глава.

24.1. Предварительные замечания

Езда на автомобиле по мокрому или по обледенелому асфальту часто приводит к авариям. Причина тому — потеря управляемости автомобилем из-за юза и заноса при торможении или пробуксовки ведущих колес при резком газе.

Справиться с автомобилем, потерявшим управление, умеет не каждый водитель. Неприятная ситуация возникает и в тех случаях, когда автомобиль попадает в глубокий снег, в пески или в непролазную грязь на дороге, — одно ведущее колесо проворачивается и все глубже зарывается, а другое — неподвижно. Стронуть автомобиль с места без посторонней помощи очень сложно.

С целью предотвращения подобных случаев на современных легковых автомобилях устанавливаются системы управления тормозами, которые в нештатных ситуациях адаптируются под условия движения и отрабатывают свои функции автоматически. Таких систем четыре*: система антиблокировки тормозов (ABS), система блокировки дифференциала ведущего моста (EDS), система перераспределения тормозных усилий между передним и задним мостами автомобиля (EBV) и система антипробуксовки ведущих колес (ASR или DSA).

* *Используются аббревиатуры от немецких названий систем: ABS — Antiblock Bremssystem; EDS — Elektronen Differential System; EBV — Elektronen Bremse Variation; ASR — Assistance Stabiliti Rucken; DSA — Dynamic Stabiliti Assistance.*

На рис. 24.1 показано, как влияют перечисленные системы автоматического управления тормозами на устойчивость и равномерность движения автомобиля. Рисунок демонстрирует, что системы ABS и EBV обеспечивают плавное торможение без юза и заноса, а системы EDS и ASR способствуют устойчивому движению автомобиля вперед при страгивании с места и в начале разгона.

24.2. Тормозная система автомобиля

Тормозная система автомобиля (ТСА) — это устройство, с помощью которого водитель может полностью остановить движущийся автомобиль, или пони-



Рис. 24.1. Влияние систем ASR, EDS, ABS, EBV на движение автомобиля

зить скорость его движения, или обеспечить стояночную блокировку колес с целью удержания от самопроизвольного скатывания с места.

ТСА (рис. 24.2) принято подразделять на две части: на стояночный тормоз с ручным приводом и на рабочие тормоза с управлением от усилия ноги водителя.

- Стояночный тормоз (рис. 24.2, а) — это механическое устройство, с помощью которого водитель блокирует задние колеса на время стоянки автомобиля. Оно состоит из: ручного рычага 1, троса 2 ручного тормоза, колесной тормозной колодки 3, тормозного барабана заднего колеса 4, возвратной пружины 5, шарнира тормозной колодки 6 и защелки 7 рычага.
- Рабочий тормоз — это та часть тормозной системы, которая работает на притормаживание или на полную остановку автомобиля во время его движения.

Современные рабочие тормоза легкового автомобиля — это достаточно сложное механико-гидравлическое устройство, основная функция которого заключается в передаче усилия от тормозной педали водителя к колесным тормозным колодкам. Торможению подлежат все колеса автомобиля.

На рис. 24.2б приведена блок-схема гидравлической тормозной системой (ГТС) автомобиля, на которой обозначено: 1 — тормозная педаль водителя в салоне; 2 — главный тормозной цилиндр (ГТЦ); 3 — бачок для тормозной жидкости; 4 — тормозные трубки; 5 — колесные тормозные цилиндры; 6 — колесные тормозные колодки; 7 — колесные тормозные барабаны; 8 — возвратные пружины тормозных колодок; 9 — разветвители (тройники) для тормозных трубок; 10 — тормозная жидкость.

Рис. 24.2. Тормозная система автомобиля:
а — стояночный (ручной) тормоз; б — блок-схема ГТС

Все каналы и устройства тормозной системы заполнены тормозной жидкостью.

Показанная на рис. 24.2б ГТС является двухконтурной, так как жидкостные каналы передних и задних гидравлических тормозов разделены конструкцией главного тормозного цилиндра. Это позволяет повысить надежность ГТС — при отказе одного из жидкостных каналов второй продолжает работать. Существуют также 3-х и 4-х контурные ГТС.

- По конструкции исполнения гидравлические тормозные системы подразделяют на барабанные и дисковые.

Дисковые тормоза от барабанных отличаются тем, что площадью соприкосновения с тормозными колодками в них являются не внутренние поверхности тормозных барабанов, а наружные поверхности тормозных дисков.

Дисковые тормоза эффективнее барабанных, меньше боятся загрязнений и дорожной влаги, а также проще в обслуживании и ремонте. В настоящее время на легковых автомобилях дисковые тормоза устанавливаются как на передние, так и на задние колеса.

24.3. Тормозные силы и блокировка колес в ГТС

В любой тормозной системе эффект рабочего торможения автомобиля достигается за счет использования двух видов тормозных сил. Ими являются: $R_т$ — тормозное сопротивление трению, возникающее между тормозными колодками и тормозной поверхностью колесных тормозных дисков; $R_д$ — дорожное сопротивление трению, возникающее между шинами колес автомобиля и поверхностью дороги.

Если $R_т$ меньше $R_д$, то процесс торможения протекает устойчиво вплоть до полной остановки автомобиля. При этом движение автомобиля в режиме интенсивного замедления протекает плавно, без юза, без заноса, без блокировки колес.

Однако при резком нажатии водителем на тормозную педаль соотношение сопротивлений трению может поменяться на обратное, т.е. $R_т$ станет больше $R_д$, и произойдет так называемая блокировка колес.

Блокировка колеса автомобиля во время торможения — это явление полной остановки вращения колеса при продолжающемся движении кузова автомобиля. Ясно, что блокировка приводит к юзу колеса, т.е. к его движению по автодороге без вращения.

- Юз любого колеса автомобиля, любой пары колес или всех колес сразу приводит к потере устойчивости движения автомобиля по автодороге:

— если заблокированы передние колеса, то станет невозможным управление автомобилем с помощью рулевого управления, так как оно при блокиров-

ке передних колес не действует;

— при блокировке задних колес из-за разницы величин дорожных сопротивлений трению $R_{дп}$ правого и $R_{дл}$ левого колеса станет возможным занос задней части автомобиля. При этом, если $R_{дп} - R_{дл} > 0$, то занос вправо; при $R_{дп} - R_{дл} < 0$ — занос влево;

— при полной блокировке всех четырех колес движение автомобиля по автодороге будет неуправляемым и совершенно непредсказуемым, что неизбежно приведет к аварийной ситуации. Особенно опасна* блокировка колес при движении автомобиля на большой скорости и на поворотах.



Рис. 24.3. Четырехконтурная ГТС, дополненная функциями системы ABS (обозначения в тексте)

Водитель с обычным умением вождения в подобной ситуации, как правило, сразу пытается поставить руль в сторону выравнивания движения, что приводит к полной потере контроля над движением.

Движение автомобиля юзом наиболее часто возникает на скользких дорогах зимой, а также летом во время или после дождя.

• Из сказанного ясно, что блокировка колес при торможении является главным и потенциально опасным недостатком классической тормозной системы автомобиля. От этого недостатка свободна тормозная система с автоматической антиблокировкой колес.

24.4. Тормозная система автомобиля с автоматической антиблокировкой колес

Гидравлическая тормозная система (рис. 24.3) может быть реализована таким образом, что каждое колесо будет иметь свой, отдельный от всех остальных колес, гидравлический контур автоматического управления. В этом случае поток тормозной жидкости от главного тормозного цилиндра (ГТЦ) надо разделить на четыре потока и обеспечить торможение каждого колеса в отдельности.

• Для реализации 4-х контурной ГТС с автоматическим управлением в каждом канале устанавливают электроуправляемый гидравлический клапан, который обеспечивает регулирование давления тормозной жидкости в колесном тормозном цилиндре (КТЦ). Электроуправляемые гидроклапаны конструктивно объединяют в центральный исполнительный механизм (ЦИМ), который управляется электрическими сигналами от ЭБУ ABS. Алгоритм автоматического управления электроклапанами задается путем сравнения скорости вращения колес с приведенной скоростью движения кузова автомобиля, что реализуется в цифровом электронном блоке управления (ЭБУ), который получает сигналы о скорости вращения колес от колесных датчиков (КД) в виде числа электрических импульсов, приходящегося на один оборот колеса. Скорости вращения всех четырех колес сравниваются в ЭБУ, где вырабатываются электрические сигналы рассогласования, которые и подаются на электроуправляемые гидроклапаны, расположенные в ЦИМ. Таким образом обеспечивается автоматическая корректировка эффективности торможения каждого колеса в отдельности. Такое управление гидравлическими тормозами не допускает блокировки колес в любых режимах движения автомобиля.

В сказанном заключается основная концепция любой современной тормозной системы с автоматичес-

* *Опытный водитель при появлении блокировки колес и юза может вывести автомобиль из нештатной ситуации управления путем многократного и быстрого нажатия на педаль тормоза вместо одноразового продолжительного и интенсивного. При этом он на очень короткое время ставит поворот руля не в сторону выравнивания движения, а в сторону заноса автомобиля, что быстро обеспечивает возобновление управляемого движения передних колес.*

кой антиблокировкой колес, которая чаще называется антиблокировочной системой тормозов (ABS).

• Теоретические предпосылки полезного функционирования системы ABS заключаются в следующем.

При движении автомобиля с постоянной скоростью разницы в скоростях вращения колес не возникает. При этом не возникает также разницы между приведенной скоростью V_a движения автомобиля и согласованной с ней усредненной скоростью $V_к$ вращения колес, т.е. $V_a = V_к$. При этом под усредненной скоростью вращения колес понимается величина

$V_к = (V_{к1} + V_{к2} + V_{к3} + V_{к4})/4$,

где $V_{к1} + V_{к4}$ — скорости вращения каждого колеса в отдельности.

Но как только начинается процесс интенсивного торможения, приведенная скорость кузова автомобиля V_a начинает превышать усредненную скорость $V_к$ вращения колес, так как кузов "обгоняет" колеса под действием силы инерции массы автомобиля, т.е. $V_a > V_к$.

В такой ситуации между колесами и дорогой возникает явление равномерного умеренного скольжения. Это скольжение является рабочим параметром тормозной системы и определяется как

$S = [(V_a - V_к)/V_a]$ 100%.

Физически рабочее скольжение в отличие от аварийного юза реализуется за счет прогибания протектора колесных шин, сдвига мелких фракций на поверхности дороги, и за счет амортизации автомобильной подвески. Эти факторы удерживают автомобиль от юза и отображают полезную суть рабочего скольжения колеса при его торможении. Ясно, что при этом замедление вращения колеса происходит постепенно и управляемо, а не мгновенно, как при блокировке.

Величина S названа коэффициентом скольжения и измеряется в процентах. Если S = 0%, то колеса вращаются свободно, без воздействия на них дорожного сопротивления трению $R_д$. Коэффициент скольжения S = 100% соответствует юзу колеса, когда оно переходит в заблокированное состояние.

При появлении эффекта рабочего скольжения, при котором все еще имеет место нормальное качение колес, между ними и дорогой возникает равномерно возрастающее сопротивление трению $R_д$, которое является функцией от рабочего скольжения S и создает силу торможения автомобиля $F_т = KR_д(S)$. K — конструктивный коэффициент пропорциональности, зависящий от состояния протектора шин, тормозных колодок, тормозных дисков и тормозных суппортов.

• На графике 24.4 приведена зависимость силы торможения $F_т$ от коэффициента скольжения S, из которого видно, что максимального значения величина $F_т$ достигает при значениях S в интервале от 10% до 30%.

Важно заметить, что при малых S (от 0% до 7%) сила торможения линейно зависит от скольжения,

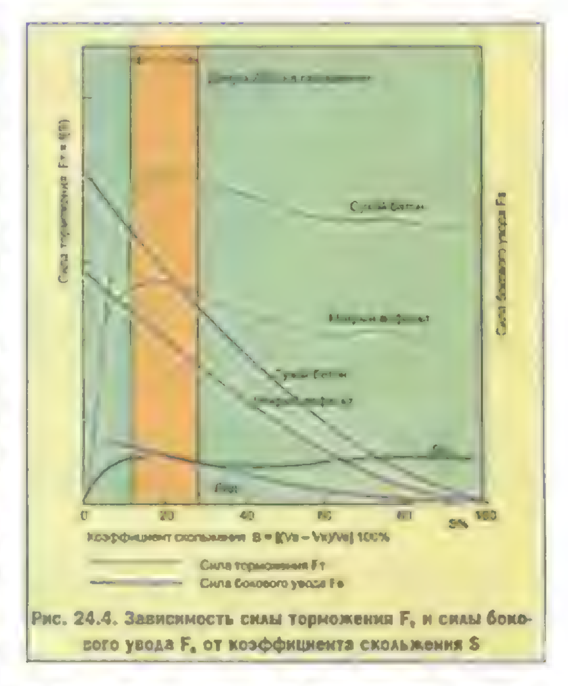


Рис. 24.4. Зависимость силы торможения $F_т$ и силы бокового увода $F_в$ от коэффициента скольжения S

что обеспечивает наиболее эффективное торможение. Это имеет место при плавном и медленном нажатии на педаль тормоза.

При более интенсивном торможении скольжение S растет, а сила $F_т$ торможения начинает уменьшаться или, в лучшем случае, остается постоянной.

Из сказанного ясно, что основной задачей ABS является автоматическое (без участия водителя) поддержание коэффициента скольжения S в пределах от 10% до 30%, когда сила торможения автомобиля максимальна. На графике этот рабочий для ABS участок заштрихован.

• При некоторых состояниях дорожного покрытия, например, на твердом и сухом бетоне, система ABS может привести к некоторому увеличению тормозного пути автомобиля по сравнению с этим показателем для случая интенсивного торможения с выключенной ABS. Однако в последнем случае устойчивость движения автомобиля не гарантирована, а износ колесной резины и тормозных колодок резко возрастает. В большинстве же случаев тормозная система с ABS значительно эффективнее классической тормозной системы.

24.5. Разновидности систем ABS

В настоящее время на легковых автомобилях применяется достаточно большое количество самых разнообразных вариантов исполнения систем антибло-



Рис. 24.5. Классификация систем антиблокировки тормозов (ABS)

кировки тормозов (ABS). Общим для всех ABS является то, что они дополняют рабочие функции гидравлической тормозной системы (ГТС) автомобиля принципиально новым качеством — способностью интенсивного торможения без блокировки колес. Для достижения этой цели любая система ABS помимо основных компонентов ГТС включает в свой состав датчики (КД) частоты вращения колес, электронный блок управления гидротормозами (ЭБУ-Т) автомобиля и центральный гидравлический исполнительный механизм (ЦИМ), который раздельно управляет колесными тормозными цилиндрами (КТЦ), а сам управляется от электрических сигналов ЭБУ-Т (см. рис. 26.3).

- Разновидности систем ABS можно классифицировать на четыре типа по четырем отличительным признакам (рис. 24.5): а — конструктивным особенностям системы; б — функциональным возможностям системы; в — компонентному составу; г — эксплуатационным свойстаам (преимуществам и недостаткам).

1. Если система ABS выполнена с применением шариковых клапаноа (ШК), которые управляются поршневыми толкателями, а последние в свою очередь приводятся в действие червячными передачами (ШЧМ) от электродвигателя — ЭД (рис. 24.6), то такая система работает без гидронасоса с использованием давления от главного тормозного цилиндра (ГТЦ) и классифицируется как вентильная ABS (ABS-V) или как ABS первого типа (ABS-T1).

2. Если система ABS реализована с применением шариковых клапанов, которые управляются от гидроусилителя руля (ГУР) посредством поршневых толкателей, а переключение режимов торможения — с помощью двухпозиционного электрогидроклапана (ДПЭК), то система может

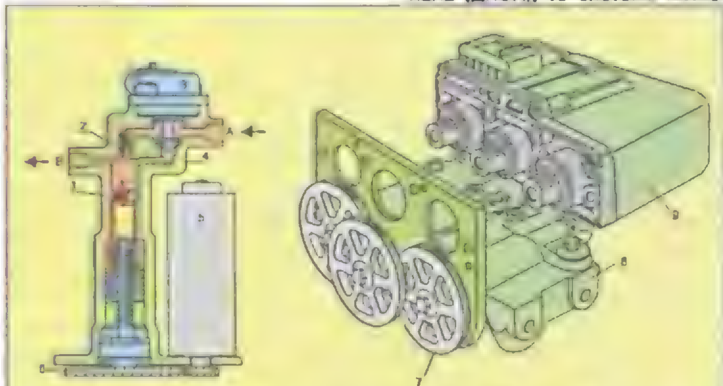


Рис. 24.6. Основные компоненты вентильной ABS (первый тип):
1 — поршень-толкатель (красный) с червячным механизмом (синий); 2 — обратный шариковый клапан (открывается поршнем-толкателем 1, закрывается — возвратной пружиной); 3 — главный двухпозиционный гидроклапан с электромагнитным управлением давления в канале AB; 4 — корпус ЦИМ; 5 — реверсный электродвигатель постоянного тока для управления поршнем-толкателем 1 и давлением в канале AB; 6 — редуктор; 7 — шестерни редуктора; 8 — центральный гидравлический исполнительный механизм (ЦИМ); 9 — блок из трех электродвигателей 5; A и B — вход и выход управляемого гидроклапана AB.

быть отнесена в отдельный (второй) тип (см. поз. ABS-T2). В состава ЦИМ такой системы дополнительно входят три гидравлических клапана: предохранительный (ПХК), перепускной (ППК) и переключающий (ПКК).

3. Если в системе ABS давление в колесных тормозных цилиндрах управляется посредством двух- или трехпозиционных гидроклапанов (ТПЭК), которые в свою очередь управляются электрическими сигналами от ЭБУ-Т, и в системе имеется электрогидронасос низкого давления (ГННД), то такая система называется электроклапанной (ABS-К) и относится к третьему типу (ABS-T3). Система дополняется регулятором-распределителем давления (РРД) и редукционным клапаном (РК).

4. Если система ABS содержит в своем составе гидроаккумулятор высокого давления — ГАВД (120...180 бар) с подпорным герметичным пневморессивером — ПРВД (азот, гелий), то эта система содержит гидронасос высокого давления (ГНВД) с автоматическим гидровыключателем насоса (ГВК) и классифицируется как ABS с гидроаккумулятором (ABS-Г), или как ABS четвертого типа (ABS-T4). Давление в КТЦ управляется посредством четырех клапанно-поршневых регуляторов (КПР), которые в свою очередь управляются трехпозиционными электрогидроклапанами, каждый из которых составлен из двух двухпозиционных клапанов. Системы ABS-T4 более эффективны в работе, обладают высоким быстродействием и могут применяться совместно с электронными системами EDS, EBV и ASR.

5. Если регулировке с помощью ABS подвергаются два передних колеса в отдельности, а два задних колеса вместе по одному общему гидроканалу регулирования (Select low), то система называется трехканальной. Наиболее простой вариант такой системы реализован с использованием давления от главного тормозного цилиндра (см. поз. ABS-T1).

6. Если регулироаке с помощью ABS подвергаются только два задних колеса, но по одному (общему) гидроканалу, то система называется одноканальной. Такая система выполняет функцию регулятора тормозов заднего моста и устанавливалась на японском автомобиле "TOYOTA" еще в 1971 г. Это первое применение системы ABS на серийном автомобиле. В классификацию включена более поздняя одноканальная система ABS (для японского автомобиля "TRUCK", 1989 год выпуска), в которой в качестве рабочего давления используется давление гидроусилителя руля — ГУР (см. ABS-T2).

Степень замедления	Низкая-1	Низкая-2	Средняя	Высокая
Фото-транзистор №1	Открыт	Закрыт	Закрыт	Открыт
Фото-транзистор №2	Открыт	Открыт	Закрыт	Закрыт
Цифровой сигнал для ЭБУ	1-1	0-1	0-0	1-0
Щелевая пластина, Цепь, Светодиоды, №1, Фото-транзисторы, №2	Открыт Открыт	Закрыт Открыт	Закрыт Закрыт	Открыт Закрыт

Положение щелевой пластины

Рис. 24.7. Инерционный датчик (датчик замедления) системы ABS

7. Если с помощью ABS регулировке подвергается каждое из четырех колес в отдельности, то система называется четырехканальной. Применяется на большинстве современных автомобилей высокого потребительского класса (см. поз. ABS-T3 и ABS-T4).

8. Если ABS используется на полноприводном автомобиле, то в системе устанавливается специальный инерционный датчик (рис. 24.7), а система называется ABS с датчиком (ДЗ) замедления (может быть одно-, трех- или четырехканальный, в отдельный тип не выделяется, см. ABS-T2 и ABS-T3).

9. Если давление в управляемом с помощью ABS колесном цилиндре может удерживаться для трех случаев торможения (торможение с повышением давления, торможение с удержанием давления, торможение с понижением давления), то система ABS трехпозиционная (см. ABS-T3 и ABS-T4). Специфический компонент 3-х позиционной ABS — трехпозиционный гидроклапан с электромагнитным управлением от ЭБУ-Т.

10. Если давление в колесном цилиндре может удерживаться только для двух случаев торможения (с увеличением и понижением давления), то система ABS — двухпозиционная. Реализуется такая система с применением двухпозиционных гидроклапанов. Однако с помощью пары двухпозиционных клапанов можно создать один трехпозиционный электрогидроклапан (используется в системах ABS-T4).

24.6. Работа системы ABS

Для уяснения принципа действия системы автоматической антиблокировки тормозов (ABS) рассмотрим работу трехканальной трехпозиционной электро-клапанной ABS с гидронасосом низкого давления (ABS-T3).

Составными компонентами такой системы ABS являются:

1. Датчики вращения колес (КД);
2. Колесные тормозные цилиндры (КТЦ);

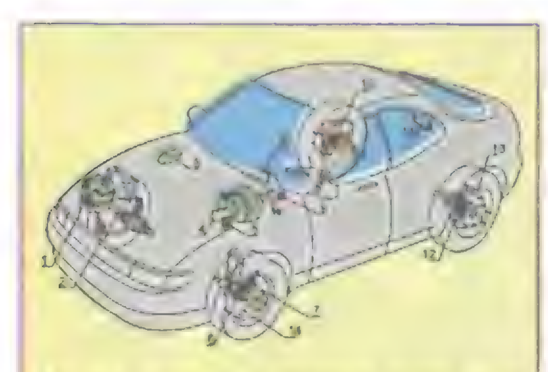


Рис. 24.8. Расположение компонентов системы ABS на автомобиле:

1 — центральный исполнительный механизм ABS (ЦИМ); 2 — реле управления ЦИМ; 3 — ЭБУ ABS; 4 — главный тормозной цилиндр (ГТЦ); 5 — контрольно-диагностический разъем ABS; 6 — ротор (зубчатый задатчик) переднего колесного датчика; 7 — колесный датчик частоты вращения (передний); 8 — лампа ABS; 9 — педальный выключатель системы ABS; 10 — ротор заднего колесного датчика; 11 — датчик замедления (для 4WD); 12 — задний колесный датчик; 13 — скоба задних дисковых тормозов; 14 — скоба передних дисковых тормозов

3. Центральный гидравлический узел системы ABS (центральный исполнительный механизм — ЦИМ);
4. Главный тормозной цилиндр (ГТЦ);
5. Электронный блок управления (ЭБУ-ABS);
6. Контрольная лампа ABS;
7. Датчик (ДЗ) замедления инерционного типа (для автомобилей 4 WD).

Перечисленные компоненты устанавливаются на автомобилях по-разному. В качестве примера на рисунке 24.8 показано расположение составных частей системы ABS на японском автомобиле "SELEKA".

Главным функциональным узлом системы ABS является центральный исполнительный механизм (ЦИМ). Он состоит из:

— электрогидронасоса (Н);

— трех редукционных гидроклапанов обратного действия $К_1$, $К_2$, $К_3$;

— трехпозиционного электромагнитного гидроклапана (ГК), который включает в себя два запорных клапана $К_4$ и $К_5$.

• На рис. 24.9 приведена функциональная модель системы ABS для одного переднего колеса.

Схема в зависимости от режима торможения может находиться в пяти состояниях:

1. Режим "торможение без ABS". В этом случае:

а) $V_{к1} = V_{к2} = V_{к3} = V_{к4} = V_а$, где

$V_а = (V_{к1} + V_{к2} + V_{к3} + V_{к4})/4$;

б) ABS включается педальным датчиком ПД, но не функционирует, так как нет рассогласования скоростей вращения колес;

в) тормозная жидкость из ГТЦ поступает в канал М и далее через клапан $К_4$ в колесный тормозной цилиндр КТЦ. Клапаны $К_1$ и $К_3$ закрыты и перекрывают каналы L и N. Клапан К5 также закрыт. Происходит обычное торможение без участия ABS;

г) когда педаль тормоза отпускается, то под обратным давлением жидкости из КТЦ клапан $К_3$ открывается и перепускает тормозную жидкость обратно в ГТЦ.

2. Режим "снижения давления" в КТЦ (ослабление силы торможения колес).

Этот режим возникает, когда от колесного датчика КД данного колеса в ЭБУ поступает сигнал С о замедлении вращения (состояние, близкое к блокировке колеса). При этом:

а) $V_а = (V_{к1} + V_{к2} + V_{к3} + V_{к4})/4 > V_{к1}$, так как $V_{к1} < (V_{к2} + V_{к3} + V_{к4})/3$;

б) ЭБУ ABS по сигналу С выдает на контакт А напряжение $U_н$ = 10 В, и через соленоид W главного гидроклапана ГК начинает протекать ток 5 А (сопротивление R_w = 2 Ом). Одновременно на контакт В с ЭБУ поступает напряжение $U_н$ = 12 В, от которого приходит во вращение гидронасос Н;

в) под напором гидронасоса Н обратные клапана $К_1$ и $К_2$ открываются, клапан $К_5$ главного электрогидроклапана ГК также открывается, а клапан $К_4$ закрывается под воздействием керна соленоида W;

г) указанные переключения клапанов открывают обратный канал для тормозной жидкости из КТЦ в ГТЦ: через клапан $К_5$, далее через клапаны $К_2$ и $К_1$ обратно в ГТЦ. При этом часть тормозной жидкости перепускается в бачок Б системы ABS.

3. Режим "удержания давления" в КТЦ.

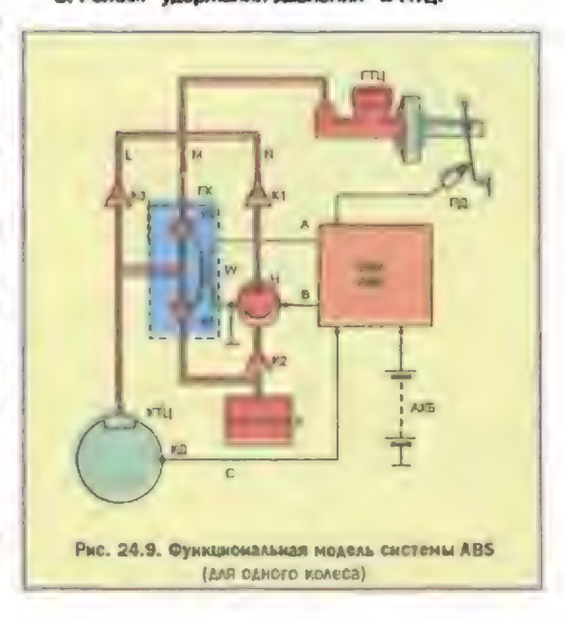


Рис. 24.9. Функциональная модель системы ABS (для одного колеса)

Этот режим возникает, когда система ABS автоматически выходит из режима "снижение давления". Это происходит по сигналу С от колесного датчика, когда $V_{к1}$ снова становится равной $V_в$:

а) ЭБУ ABS на контакт А выдает напряжение 4 В, и ток в соленоиде W падает до 2 А. Гидронасос Н продолжает работать, так как на контакт В по-прежнему подается напряжение 12 В;

б) при токе 2 А (в соленоиде W) электромагнитный клапан закрывает оба рабочих клапана $К_4$ и $К_5$ и обеспечивает стабилизацию давления тормозной жидкости в КТЦ, так как в этом состоянии клапанов тормозная жидкость запирается клапанами $К_3$, $К_4$ и $К_5$ в колесном цилиндре КТЦ. Электрогидронасос продолжает работать, создавая противодавление в ГТЦ и удерживая клапан $К_3$ в закрытом состоянии.

4. Режим "увеличения давления" в КТЦ.

Этот режим возникает, когда от колесного датчика КД приходит сигнал С повышенной скорости вращения данного колеса, т.е. сигнал, при котором $V_{к1} > V_в$ (колеса со скоростью вращения $V_{к2}$, $V_{к3}$, $V_{к4}$ — тормозятся, а со скоростью $V_{к1}$ — вращается свободно):

а) ЭБУ ABS по сигналу С выключает напряжение на контакте А ($I_w = 0$), но напряжение $U_н = 12$ В на гидронасос продолжает поступать с контакта В. При этом ГК выключается, занимает исходное положение, клапан $К_4$ открывается, а $К_5$ закрывается;

б) в колесном тормозном цилиндре КТЦ давление жидкости увеличивается, так как гидронасос Н подает жидкость из бачка Б в КТЦ через клапаны $К_1$, $К_2$ и $К_4$, которые открыты.

5. Во всех четырех состояниях функциональная схема при обратном ходе тормозной педали работает на возврат тормозной жидкости обратно в ГТЦ через обратный клапан $К_3$.

Когда тормозная педаль поднимается вверх до отказа, концевой выключатель ПД выключает ЭБУ и система ABS перестает функционироавть.

Таким образом, выключатель ПД является датчиком включения и выключения системы ABS.

На некоторых моделях автомобилей дополнительно к ПД на шоферском пульте управления устанавливают второй выключатель системы ABS, которая в таком случае может быть выключена водителем.

● Описанные пять состояний системы (торможение без ABS, снижение давления в КТЦ, удержание давления в КТЦ, увеличение давления в КТЦ, возарат тормозной педали) реализуются с помощью трехпозиционного гидроклапана (ГК) с электромагнитным управлением. Работа ГК может быть пояснена с помощью модели показанной на рис. 24.10.

Если в соленоиде W ток $I_W = 0$ (торможение без ABS, возврат тормозной педали и увеличение давления в КТЦ), то в ГК клапан $К_5$ закрыт, а клапан К4 —

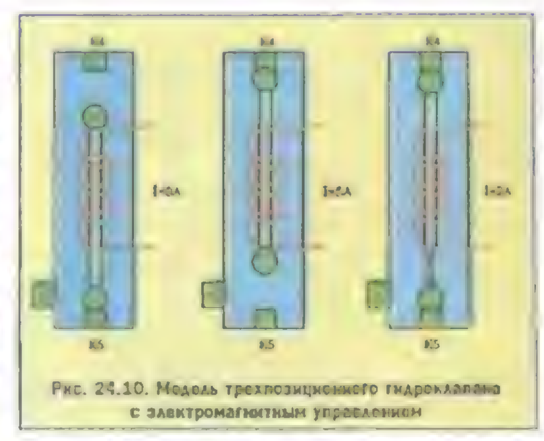


Рис. 24.10. Модель трехпозиционного гидроклапана с электромагнитным управлением

открыт. При токе $I_w = 5$ А (снижение давления а КТЦ) в гидроклапане ГК клапан $К_5$ открыт, а клапан $К_4$ — закрыт. При токе $I_w = 2$ А (удержание давления в КТЦ) оба клапана $К_4$ и $К_5$ — закрыты.

В табл. 24.1 приведены обозначения различных рабочих состояний гидроклапанов и управляющих электрических сигналов для различных режимов функционирования системы ABS.

"+" — открытое состояние клапанов; "–" — закрытое состояние клапанов; $F_к$ — частота сигнала С, соотаетствующая скорости колеса $V_к$; $F_в$ — частота сигнала С, соответстаующая скорости $V_в$.

Таблица 24.1

Режимы ABS	Состояние гидроклапанов в [illegible]					Состояние электрических сигналов		
	К1	К2	К3	К4	К5	А	В	С
1. Режим "торможение без ABS"	–	–	–	+	–	0В	0В	$F_к = F_в$
2. Режим "снижение давления"	+	+	–	–	+	10В	12В	$F_к > F_в$
3. Режим "удержание давления"	–	–	–	–	–	4В	12В	$F_к = F_в$
4. Режим "увеличение давления"	+	+	–	+	–	0В	12В	$F_к < F_в$
5. Возврат тормозной педали	–	–	+	+	–	–	–	–

24.7. Устройство и работа ЭБУ-Т

На рис. 24.11 приведена принципиальная электрическая схема системы ABS, в которой главным компонентом является электронный блок управления тормозами (ЭБУ-Т).

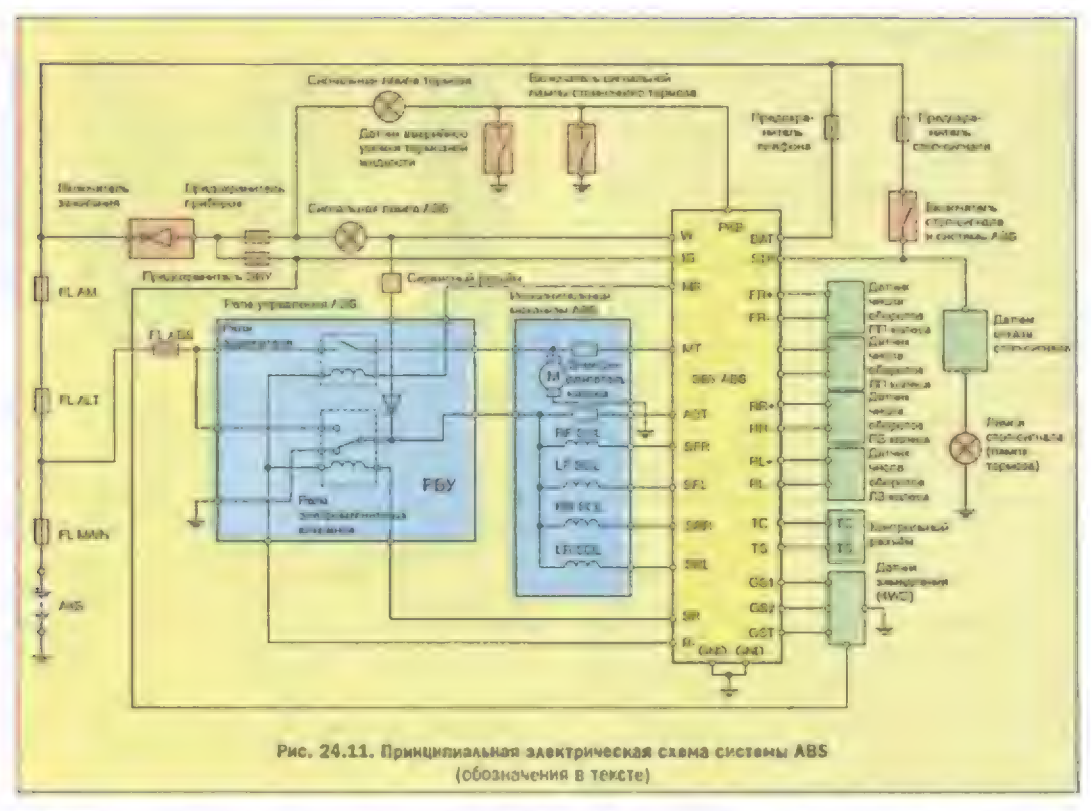


Рис. 24.11. Принципиальная электрическая схема системы ABS (обозначения в тексте)

ЭБУ-Т конструктивно выполнен на полупроводниках и микросхемах, заключен в герметичный кожух, который устанавливается либо в салоне, либо в багажнике автомобиля.

С внешними устройствами и бортовой электросетью ЭБУ-Т связан многоконтактным разъемом.

К внешним входным устройствам ЭБУ-Т относятся:

— колесные датчики — 4 шт.;

— датчик замедления (только для 4WD);

— датчик отказа стоп-сигнала;

— датчик педали стоп-сигнала (выключатель системы ABS);

— датчик аварийного уровня тормозной жидкости;

— датчик стояночного тормоза;

— предохранители — 8 шт.

К внешним выходным (исполнительным) устройствам ЭБУ-Т относятся:

— релейный блок управления (РБУ). Внутри РБУ установлены два реле с "сухими" контактами. Одно для включения электродвигателя гидронасоса, другое для включения и переключения электромагнитных соленоидов рабочих гидроклапанов системы ABS;

— исполнительный механизм ABS с рабочими гидроклапанами и с электрическим гидронасосом. Каждый рабочий гидроклапан управляется с помощью электромагнитного соленоида, а соленоиды — от электрических сигналов ЭБУ-Т;

— сигнальная лампа ABS. Предназначена для контроля за исправностью системы;

— сервисный разъем для вывода кодов неисправностей системы ABS;

— контрольный разъем для стендовой диагностики.

- ЭБУ-Т работает следующим образом.

1. Включается ключ зажигания, и на контактах IG и BAT устанавливается напряжение +12 В от аккумуляторной батареи (АКБ). При этом на 3 сек загорается контрольная лампа ABS.

Если один из предохранителей MAIN, ALT, AM, или лампа ABS перегорают, система ABS не включается.

2. После пуска ДВС и разгона автомобиля до скорости более 6 км/час в ЭБУ-Т отрабатывается функция первичного контроля. При этом выключатель стоп-сигнала на педали тормоза должен быть разомкнут. Если в системе все исправно, то загорается лампа контроля стоп-сигнала, а на лампу ABS подается код готовности системы ABS к работе. При достижении автомобилем скорости более 6 км/час обе лампы гаснут.

3. Если в ABS есть неисправность, то в системе отрабатывается функция самодиагностики, и лампа ABS начинает мерцать.

В системе ABS предусмотрена и функция надежности. Эта функция отрабатывается при появлении любой неисправности. В таком случае сигналы управления от ЭБУ-Т на исполнительный механизм ABS не подаются, а тормозная система автомобиля начинает работать без ABS.

Следует отметить, что сигналы ЭБУ-Т низкопотенциальные (поступают от микросхем), а сигналы от РБУ к исполнительному механизму ABS силовые, так как проходят от АКБ через сухие контакты реле для ЭД и соленоидов ЭМК. Напряжение на соленоиды гидроклапанов в режиме снижения давления подается непосредственно от АКБ ($U_к$ = 12 В). Так формируется прямой ток соленоида 5 А. При этом контакты SFR, SFL, SRR, SRL через мощные транзисторы в ЭБУ замыкаются на "массу".

В режиме "удержания давления" через соленоиды протекает обратный ток 2 А (см. схему на рис. 24.11).

При этом в соленоидах направление магнитного потока изменяется на противоположное. Это способствует быстрому срабатыванию гидроклапанов при меньшем токе управления и фиксирует их в заданном для данного режима положении.

Если в тормозной системе автомобиля срабатывает датчик аварийного уровня тормозной жидкости, или введен в действие стояночный тормоз, то ЭБУ-Т выключается (от закорачивания на "массу" контакта РКВ).

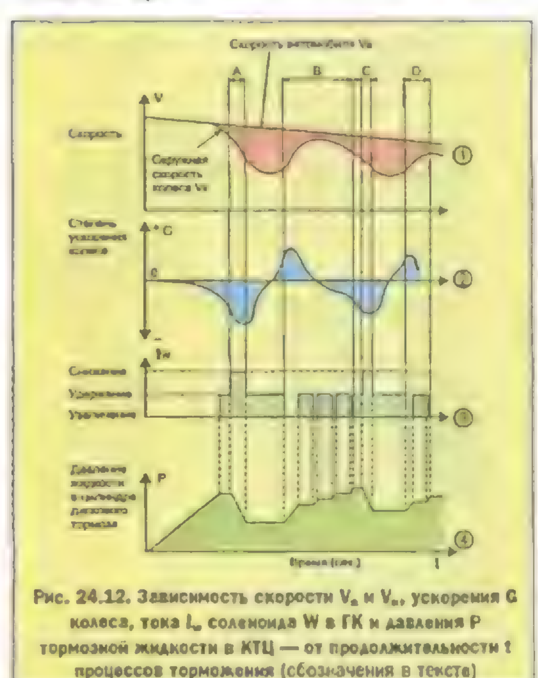


Рис. 24.12. Зависимость скорости V_a и $V_к$, ускорения G колеса, тока I_w соленоида W в ГК и давления P тормозной жидкости в КТЦ — от продолжительности t процессов торможения (обозначения в тексте)

- ЭБУ-Т через исполнительный механизм ABS управляет скоростью вращения колес с соблюдением определенной закономерности (рис. 24.12).

Если какое-либо колесо затормаживается сильнее остальных, то в тормозном цилиндре этого колеса давление под действием системы ABS понижается, так как ЭБУ устанавливает ЭМ-гидроклапан (ГК) в положение "снижение давления" (участок А).

Далее при повышении скорости колеса до состояния "удержание давления" (участок между А и В) гидроклапан удерживает давление постоянным до тех пор, пока снова не наступит состояние, при котором $V_к \neq V_a$.

Если $V_к < V_a$ (замедление вращения колеса), то снова повторяется режим "снижение давления".

Если $V_к > V_a$, то ABS переведет клапан ГК в состояние "увеличение давления". Так как ABS срабатывает практически мгновенно, то время торможения, как и время растормаживания колес, очень короткое, и состояния увеличения и удержания давления быстро чередуются (участок В) до тех пор, пока подконтрольное ABS колесо не сравняет свою скорость вращения со всеми остальными колесами.

Скорость вращения колеса при воздействии на него системы ABS изменяется по закону, близкому к синусоидальному (рис. 24.12, поз. 1), постепенно приближаясь к скорости движения автомобиля:

$V_a = (V_{К1} + V_{К2} + V_{К3} + V_{К4})/4.$

Ясно, что ускорение G колеса при таком законе изменения скорости будет знакопеременным и принимает вид, показанный на рис. 24.12, поз. 2. На графике рис. 24.12, поз. 3 показан электрический токовый сигнал I_w, который при снижении давления соответствует току 5 А, при удержании давления — току 2 А, при увеличении давления — ток сигнала I_w равен нулю. Закономерность изменения давления Р в колесном тормозном цилиндре отображена графиком (рис. 24.12, поз. 4).

24.8. Колесные датчики системы ABS

В любой системе автоматического управления гидравлическими тормозами автомобиля используются преобразователи частоты вращения колес в электрический импульсный сигнал. Такие преобразователи называются колесными датчиками ABS. По виду преобразования колесные датчики бывают индуктивными или датчиками Холла. В индуктивном колесном датчике (рис. 24.13) задатчиком частоты вращения является ферромагнитный зубчатый диск 2 — ротор датчика (РД), который устанавливается непосредственно на приводном валу 3 ведущего колеса (рис. 24.13, поз. г), или на вращающейся ступице 4 пассивного колеса (рис. 24.13, поз. в). Сам индуктивный датчик

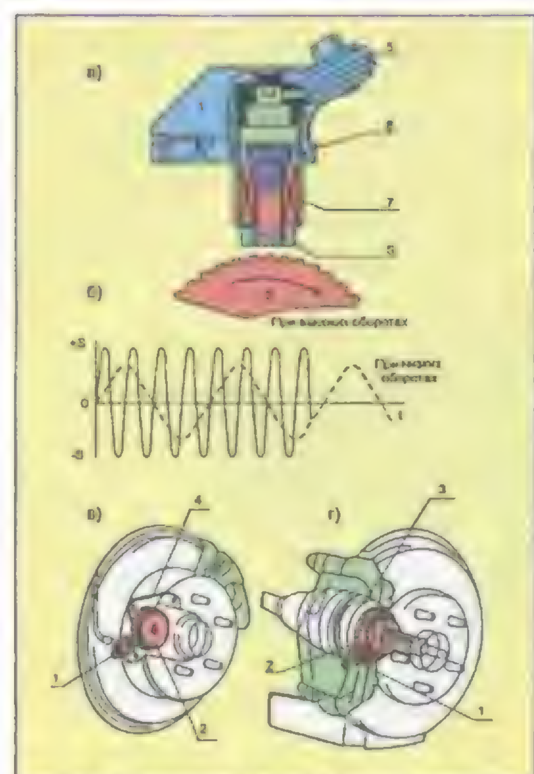


Рис. 24.13. Индуктивный колесный датчик системы ABS: а — конструкция; б — форма выходного сигнала; в — установка ротора датчика на ступице; г — установка ротора датчика на приводном валу; 1 — индуктивный датчик; 2 — ротор (зубчатый диск-задатчик); 3 — приводной вал ведущего колеса; 4 — ступица пассивного колеса; 5 — контактная фишка; 6 — постоянный кольцевой магнит; 7 — сигнальная обмотка датчика; 8 — магнитное ярмо (щуп) датчика.

(рис. 24.13, поз. а) устанавливается над зубчатым диском 2 с воздушным зазором не более 2 мм.

По принципу действия и устройству индуктивный колесный датчик аналогичен датчику угловых импульсов (ДУИ) системы зажигания (см. главу 21). Количество зубцов на роторе колесного датчика в разных системах ABS может быть различным (от 24 до 90). Оно определяет число генерируемых датчиком электрических импульсов, приходящихся на один оборот колеса. По числу импульсов в ЭБУ-Т легко определяется частота (или скорость) вращения колеса.

24.9. Система электронной блокировки дифференциала ведущего моста (EDS)

Дифференциал ведущего моста автомобиля предназначен для перераспределения крутящего момента двигателя между правым и левым ведущими колесами. Планетарный механизм дифференциала позволяет ведущим колесам, оставаясь под равномерной нагрузкой, вращаться с неодинаковой скоростью при прохождении автомобилем крутых поворотов. Это повышает устойчивость движения и защищает колесную резину от чрезмерного износа. При движении автомобиля по сухой дороге в прямом направлении дифференциал работает как обычный понижающий редуктор и ведущие колеса вращаются с одинаковой скоростью.

- Но наряду с положительными качествами дифференциал обладает и отрицательными: он является причиной значительного падения тягового усиления и потери устойчивости движения при страгивании автомобиля с места или при езде по скользкой дороге. В этих условиях ведущее колесо, которое имеет меньшее сцепление с дорогой, начинает пробуксовывать, т.е. вращаться быстрее всех остальных. Особенно отчетливо это проявляется, если автомобиль попал в грязь, в глубокий снег, в пески или на обледенелый участок дороги. Тогда при попытке начать движение одно колесо вращается, а другое стоит на месте. Но более опасна ситуация, когда на асфальтированной обледенелой дороге встречается поворот, подъем или уклон. В этом случае увеличение или уменьшение оборотов двигателя посредством педали газа могут привести к развороту автомобиля поперек движения или к его сносу в совершенно непредсказуемую сторону.

Чтобы в указанных тяжелых дорожных условиях обеспечить одновременное и равномерное вращение ведущих колес, на грузовых автомобилях приме-



Рис. 24.14. Упрощенная модель системы ABS с функциями EDS (обозначения в тексте)

няют механическую блокировку дифференциала заднего ведущего моста. При механической блокировке происходит жесткая фиксация полуосей относительно главной шестерни планетарного механизма и колеса начинают вращаться с одинаковой скоростью. Однако механическая блокировка имеет три принципиальных недостатка: с ее помощью нельзя блокировать дифференциал переднего ведущего моста; конструктивное исполнение механической блокировки — достаточно сложное техническое мероприятие; но главное — в управление механической блокировкой невозможно ввести обратную связь от степени нагрузки каждого ведущего колеса в отдельности. Последнее обстоятельство есть следствие того, что после включения механической блокировки ведущие колеса не могут вращаться с различной скоростью, т.е. при включенной механической блокировке невозможно осуществить автоматическое перераспределение крутящего момента двигателя между правым и левым ведущими колесами.

- Для того чтобы блокировка дифференциала была более эффективной, она должна быть мягкой, т.е. выравнивать скорости вращения ведущих колес не жесткой сцепкой полуосей, как при механической блокировке, а по мере нарастания разности тяговых усилий под ведущими колесами. Такую блокировку дифференциала можно реализовать с помощью автоматического притормаживания того ведущего колеса, которое за счет пробуксовки начинает вращаться быстрее всех остальных. При этом автоматика управления должна быть достаточно быстродействующей, чтобы не допускать излишнего затормаживания управляемого колеса. Этим требованиям в полной мере отвечает система автоматической антиблокировки колес (система ABS), дополненная функциями автоматической блокировки дифференциала (EDS).

- Для реализации автоматической блокировки дифференциала с помощью системы ABS достаточно (рис. 24.14) гидромагистраль "L", по которой подается тормозная жидкость от главного тормозного цилиндра (ГТЦ) через центральный исполнитальный механизм (ЦИМ) к колесным тормозным цилиндрам (КТЦ), отключить от ГТЦ и через редукционный клапан (РК) подсоединить к автономному гидронагнетателю (АГН), а в ЭБУ-Т предусмотреть функцию торможения буксующего колеса не от ГТЦ, а от АГН. Тогда ГТЦ будет работать только в системе ABS, а АГН — только в системе EDS. Переключение тормозной системы с функций ABS на функции EDS реализуется с помощью поршня (ПВ) дополнительного гидроклапана (ДГК) с электроуправлением сигналом S от ЭБУ-Т.

В реальных вариантах исполнения автономный гидронагнетатель АГН одновременно является и гидроусилителем тормозов. В этом случае в систему добавляется еще один дополнительный электрогидроклапан (ДГК) для переключения гидронагнетателя АГН

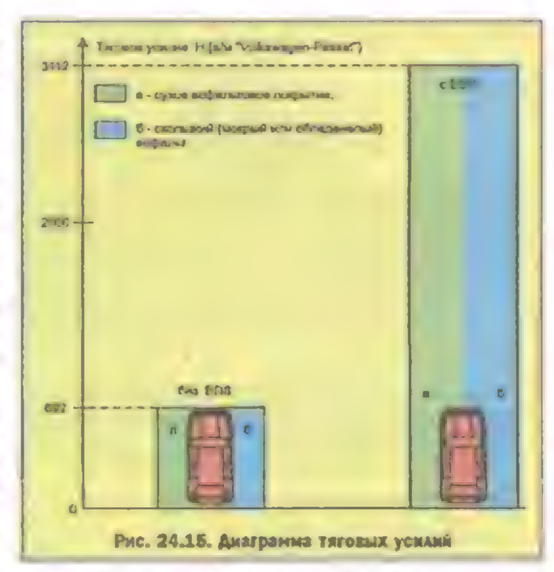


Рис. 24.15. Диаграмма тяговых усилий

(на чертеже второй ДГК не показан). Давление в АГН поддерживается постоянным вначале за счет напора на упругую диафрагму (УД) со стороны пневморесивера (ПР), наполненного азотом под высоким давлением (не менее 160 бар). Когда тормозной жидкости в АГН становится мало, упругий виток монометрического выключателя (ММК) сворачивается, контакты КВ включают электродвигатель (ЭД) гидронасоса высокого давления (НВД) и начинается перекачка тормозной жидкости из резервного бачка (РБ) в полость АГН. Когда давление в АГН поднимается до нормы, упругий виток ММК снова распрямляется и контакты КВ выключают электродвигатель наноса.

В результате работы системы ЕДС возникает реактивный момент в дифференциале, который по проявлению схож с механической блокировкой. При этом колесо, имеющее лучшее сцепление с дорогой, способствует увеличению тягового усиления автомобиля. Наличие электронной блокировки дифференциала увеличивает тяговое усилие в 5-6 раз (см. рис. 24.15).

- На рис. 24.16 показана функциональная гидравлическая схема тормозной системы "Teves" (ФРГ), в которой реализован принцип совмещения антиблокировки колес при торможении и мягкой блокировки дифференциала переднего ведущего моста в начале движения автомобиля.

Система "Teves" работает следующим образом:

1. Когда система находится в статическом состоянии (функции ABS и EDS не исполняются) или выполняется режим "торможение без ABS", дополнительный гидроклапан ДГК-1 закрыт, а ДГК-2 открыт.

2. В начале торможения без ABS (когда нет рассогласования частот вращения колес) тормозная жидкость под напором от ГТЦ через открытый кла-



Рис. 24.16. Функциональная гидравлическая схема тормозной системы "Teves":
РК — редукционный клапан; KEDS-группа гидроклапанов, работающих на обеспечение функций EDS; ДГК1 и ДГК2 — дополнительные гидроклапаны группы KEDS; ГДА — гидроаккумулятор высокого давления; ПР — подпорный пневморессивер (азот, гелий); НВД — гидронасос высокого давления; ЭД — электродвигатель НВД; РБ — резервный бачок; ММК — монометрический контактор для ЭД; ГГК — главный гидроклапан ABS; ММВ — монометрический предохранительный выключатель системы EDS; ПГУ — полость гидроусилителя; КГУ — механический клапан гидроусилителя; ГТЦ — главный тормозной цилиндр; ШТП — шток тормозной педали; МУ — монтажный узел для ГГК и ГТЦ; ВГК — входные гидроклапаны; ГКВ — выходные гидроклапаны; КТЦ — колесные тормозные цилиндры; АГН — автономный гидронагнетатель.

пан ДГК2 и главный гидроклапан (ГГК) поступает к входным гидроклапанам (ВГК) передних ведущих колес, которые открыты сигналами от ЭБУ-Т. Происходит равномерное торможение передних колес. Задние колеса тормозятся непосредственно от главного тормозного цилиндра ГТЦ. В ГТЦ полость гидроусилителя (ПГУ) находится под регулируемым давлением от автономного гидронагнетателя АГН, который в системе "Teves" выполнен в виде гидроаккумулятора (ГДА) высокого давления (160...180 бар). Гидроаккумулятор ГДА сообщается с полостью ПГУ через механический клапан гидроусилителя (КГУ), степень открытия которого определяет давление в полости ПГУ, а степень открытия КГУ определяется ходом штока тормозной педали (ШТП). Ясно, что при этом ход тормозной педали определяет тормозные силы во всех колесных тормозных цилиндрах (КТЦ).

3. Если при торможении равенство скоростей вращения колес нарушается, то система "Teves" начинает отрабатывать функции антиблокировки колес (функции ABS). Клапаны ДГК2 и ГГК остаются открытыми, а входной гидроклапан ВГК того колеса, которое затормаживается сильнее остальных, начинает работать (от импульсных сигналов ЭБУ-Т) прерывисто — то закрываясь, то снова открываясь. Прерывистая работа клапана ВГК будет сохраняться до тех пор, пока скорость вращения колеса не станет требуемой. Если срабатывание клапана ВГК не приводит к желаемому результату, то начинает прерывисто работать выходной гидроклапан ГКВ, в результате чего давление в колесном тормозном цилиндре (КТЦ) резко падает и растормаживание колеса происходит более эффективно.

4. Если при торможении возникает ситуация, когда пара передних ведущих колес начинает обгонять пару задних колес, а разницы частот вращения внутри колесных пар нет, то главный гидроклапан ГГК закрывается (сигналом от ЭБУ-Т) до тех пор, пока скорости вращения колесных пар не станут равными. Таким же образом в системе "Teves" выполняется и третья функция автоматического управления тормозами — функция системы EBV-перераспределения тормозных усилий между мостами автомобиля.

5. При пробуксовке одного из ведущих колес система "Teves" переходит в режим электронной блокировки дифференциала. Это происходит, когда скорости вращения ведущих колес начинают отличаться более чем на 1,5 оборота в секунду. Тогда по сигналам от ЭБУ-Т дополнительный клапан ДГК2 закрывается, а дополнительный клапан ДГК1 — открывается. Тормозная система отключается от главного тормозного цилиндра ГТЦ и попадает под прямое воздействие высокого давления (160...180 бар) от гидроаккумулятора ГДА. Для понижения и стабилизации давления за клапаном ДГК1 перед ним устанавливается редукционный клапан РК, оттарированный на давление 60...70 бар. Далее система "Teves" работает в режиме блокировки дифференциала, при котором

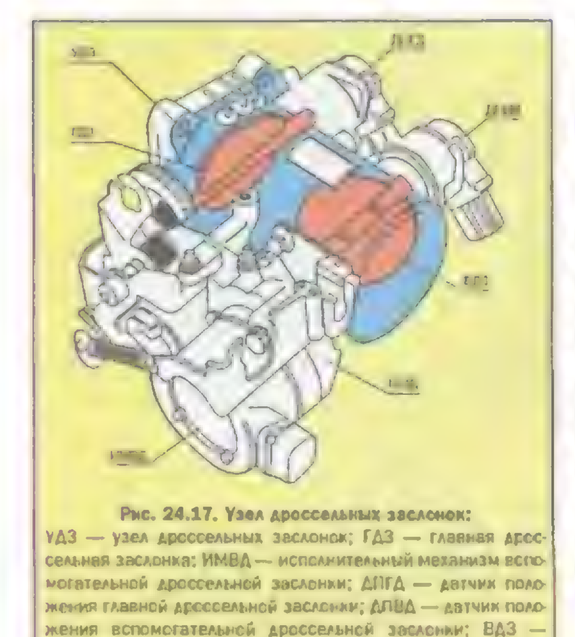


Рис. 24.17. Узел дроссельных заслонок:
УДЗ — узел дроссельных заслонок; ГДЗ — главная дроссельная заслонка; ИМВД — исполнительный механизм вспомогательной дроссельной заслонки; ДПГД — датчик положения главной дроссельной заслонки; ДПВД — датчик положения вспомогательной дроссельной заслонки; ВДЗ — вспомогательная дроссельная заслонка.

управлению от ЭБУ-Т подвергаются только передние ведущие колеса.

6. Так как тормозные колодки, а вместе с ними и колесные тормозные цилиндры (КТЦ) передних ведущих колес в режиме блокировки дифференциала подвержены значительному нагреву, то тормозная жидкость в КТЦ может вскипеть. Чтобы этого не происходило, тормозные цилиндры передних колес оснащены датчиками температуры, по сигналам которых (если T > 110...115°C) в системе "Teves" функции EDS блокируются (клапан ДГК1 закрывается, а клапан ДГК2 открывается). При этом основные функции тормозной системы не нарушаются.

7. Функции ABS и EDS в системе "Teves" выполняются раздельно. При нажатии тормозной педали срабатывает монометрический выключатель (ММВ), который дополнительно блокирует функции EDS в ЭБУ-Т.

8. Тормозная система "Teves" приходит в рабочее состояние через 10 сек после запуска двигателя, при этом контрольная лампа ABS гаснет. Исполнение функций ABS и EDS автоматически блокируется при достижении автомобилем скорости 40...45 км/час.

9. Как и все системы с электронным автоматическим управлением, система "Teves" оснащена подсистемой самодиагностики.

Отличительной особенностью системы "Teves" является то, что главный тормозной цилиндр не имеет поршня для нагнетания тормозного давления, так как оно формируется в полости гидроусилителя с помощью механического клапана КГУ. При резком падении давления в гидроаккумуляторе ГДА это может привести к отказу тормозов.

24.10. Система антипробуксовки ведущих колес (ASR)*

Даже если дифференциал ведущего моста заблокирован, стронуть автомобиль с места на скользкой дороге достаточно сложно. Надо уметь так держать педаль газа, чтобы двигатель (ДВС) автомобиля не превышал оптимальной частоты вращения для данного сцепления ведущих колес с покрытием дороги. В противном случае оба ведущих колеса начинают проворачиваться и тяговое усилие резко падает. Система антипробуксовки ведущих колес (ASR) освобождает водителя от необходимости контролировать обороты двигателя в начале движения и при разгоне автомобиля.

Основная идея, реализованная в системе ASR, состоит в согласованном управлении частотой вращения ДВС посредством автоматического воздействия на положение специальной вспомогательной дроссельной заслонки.

На рис. 24.17 показан узел дроссельных заслонок для системы ASR.

Исполнительный механизм (ИМВД) вспомогательной дроссельной заслонки (ВДЗ) включает в себя шаговый электродвигатель (ШЭД) с управлением от ЭБУ "ABS-ASR" и понижающий редуктор, передающий шаговое движение ШЭД на поворотную ось вспомогательной дроссельной заслонки. Когда ВДЗ полностью открыта, система ASR в управлении двигателем участия не принимает. При полностью закрытой ВДЗ — система ASR активирована на 100% (т.е. ДВС работает под нагрузкой на минимально возможных оборотах). В промежуточных положениях вспомогательной дроссельной заслонки система ASR посредством использования сигналов от ЭБУ-ABS плавно ("шаг-за-шагом") регулирует обороты двигателя, удерживая постоянство (одинаковость) вращения ведущих и пассивных колес. Тяговое усилие, приложенное к автомобилю, при этом максимально.

На рис. 24.18 показана функциональная схема автоматизированной тормозной системы японского автомобиля "Lexus-LS400", в которой совмещены функции ABS и ASR. Специфическими компонентами системы являются: узел дроссельных заслонок (УДЗ) с датчиком положения главной дроссельной заслонки (ДПГД) и таким же датчиком для вспомогательной дроссельной заслонки (ДПВД) и гидравлический исполнительный механизм ASR (ГИМ). В ГИМ-ASR входят гидроаккумулятор с электронасосом высокого давления, редукционный (предохранительный) клапан и три двухпозиционных гидравлических клапана с электромагнитным управлением. Последние три клапана служат

*Аббревиатуре ASR соответствует русское сокращение СРТУ (система регулирования тормозного усилия), а также английское TRC.

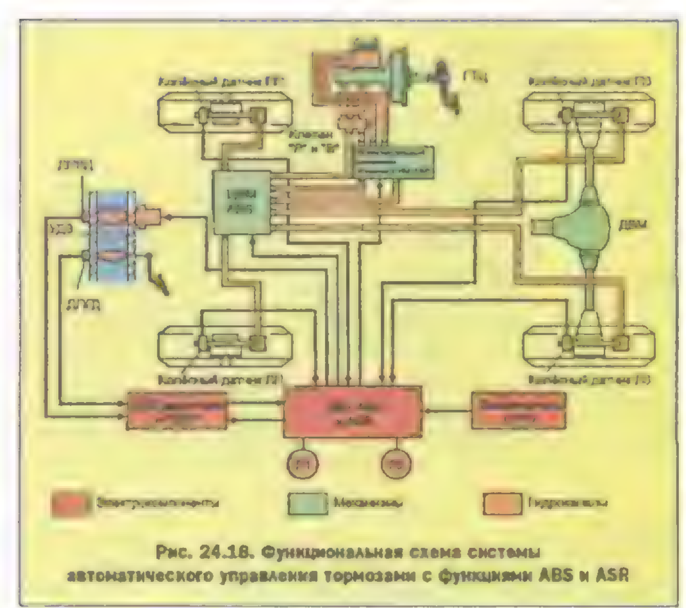


Рис. 24.18. Функциональная схема системы автоматического управления тормозами с функциями ABS и ASR

для отключения главного тормозного цилиндра (ГТЦ), резервного бачка РБ и гидроаккумулятора (ГДА). Функции ЭБУ-ABS расширены функциями ASR, дополнительно введен ЭБУ "Д-ЕСТ". Остальные компоненты такие же, как и в обычной системе ABS.

- Система ABS-ASR работает так:

1. В режимах штатного торможения отрабатывает свои функции система ABS, а система ASR не действует, так как все электромагнитные клапаны в ГИМ-ASR выключены. При этом в ЦИМ-ABS работает трехпозиционный гидроклапан (см. рис. 24.10).

2. Если в начале движения или при разгоне автомобиля ведущие колеса пробуксовывают, то в работу включаются все три электромагнитных клапана ГИМ-ASR и система ASR активируется. Автоматическое регулирование крутящего момента двигателя и торможения ведущих колес обеспечивает устойчивое ускорение автомобиля. Это происходит потому, что ЭБУ "ABS-ASR" прикрывает вспомогательную дроссельную заслонку (ВДЗ), уменьшая подачу воздуха в цилиндры ДВС и тем самым понижая крутящий момент. Одновременно с этим система ABS следит за тем, чтобы ведущие колеса вращались с такой же скоростью, как и пассивные.

3. Система ASR в отличие от системы EDS работает одновременно с системой ABS. Для этого должны выполняться следующие условия:

— главная дроссельная заслонка не должна находиться в краевых положениях, а должна быть приоткрытой, так как ДПГД в краевом положении "закрыто" делает работу системы ASR неэффективной, а в краевом положении "открыто" — выключает систему ASR;

— коробка переключения передач не должна находиться в положении "Р-стоянка" или "N-нейтраль";

— хотя бы одно буксующее колесо должно достигнуть скорости вращения 1,2...1,3 оборота в секунду;

— педаль тормоза должна быть отпущена, так как включение датчика стоп-сигнала активирует самостоятельную работу системы ABS (без участия системы ASR).

- Заканчивая описание систем автоматического управления гидравлическими тормозами автомобиля, следует отметить, что эти системы представляют собой наиболее сложную и дорогостоящую часть автотронного оборудования, устанавливаемого на современном легковом автомобиле. В силу сложности этих систем их надежное функционирование возможно при соблюдении условий эксплуатации и при постоянном контроле за нормальной (штатной) работой. Соблюдение регламентных работ по техническому обслуживанию — обязательно.

Глава двадцать пятая

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ЗАМОК АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВЕРЕЙ С ЗАЩИТНОЙ БЛОКИРОВКОЙ И С ТРАНСПОНДЕРНЫМ КЛЮЧОМ

Центральный замок автомобильных дверей — это устройство комфортного назначения, которое к противоугонной системе автомобиля непосредственного отношения не имеет. Но в последние годы требования к защите автомобиля от угона и автомобильных дверей от несанкционированного вскрытия стали обязательными, и теперь автомобилестроительные фирмы оснащают каждый выпускаемый легковой автомобиль центральным замком дверей с защитной блокировкой и с транспондерным ключом.

25.1. Центральный замок автомобильных дверей

На рис. 25.1 показана принципиальная схема наиболее распространенного варианта центрального замка автомобильных дверей без защитной блокировки, в состав которого входят следующие компоненты:

— две (левая и правая) контактные группы (КГУ) для управления центральным замком (контакты вмонтированы в замковые барабаны передних дверей);

— пневмоприводные исполнительные механизмы (ПИМы) запорных устройств с самофиксирующимися мембранами — МСФ (установлены во всех механических замках автомобиля);

— пневмонасос (ПН) шиберного типа с приводом от реверсного электродвигателя постоянного тока (ЭД), которые совмещены в единый конструктивный узел;

— релейный блок управления (РБУ) реверсным электродвигателем;

— воздушная магистраль с соединительными трубками (СТ) для соединения пневмонасоса с ПИМами.

Центральный замок работает следующим образом. Когда двери автомобиля заперты, электрическая схема обесточена, а пневмоприводные исполнительные механизмы всех четырех дверей находятся в положении "вверх" (см. рис. 25.1, поз. а). При введении номерного ключа автомобиля в личинку замкового барабана и повороте по часовой стрелке контактная группа КГУ замыкается в сторону "открыто". При этом происходит подключение обмотки реле Р1 к "массе" и реле Р1 срабатывает. Своими "сухими" контактами реле Р1 подключает клеммы (+) и (–) электродвигателя (ЭД) к бортсети автомобиля, ЭД приходит во вращение, шиберный пневмонасос начинает нагнетать излишнее давление в пневмокамеры приводных исполнительных механизмов. Под напором излишнего давления от пневмонасоса все самофиксирующиеся мембраны (МСФ) щелчком перемещаются вниз и выталкивают штоки К (см. рис. 25.1, поз. б).

Толкающими воздействиями штоков К1...К4 разблокируются запорные кнопки и внутренние рукоятки всех четырех дверей автомобиля.

При запирании дверей с помощью центрального замка номерной ключ в замковом барабане следует повернуть против часовой стрелки. При этом срабатывает реле Р2, полярность подключения электродвигателя ЭД к бортсети изменяется на противоположную и электродвигатель начнет вращать пневмонасос в другую сторону. Так как шиберный механизм (Ш) пневмонасоса обратимый, то в пневмокамерах исполнительных механизмов возникает разрежение, а самофиксирующиеся мембраны МСФ перескакивают из нижнего положения "открыто" в верхнее положение "закрыто".

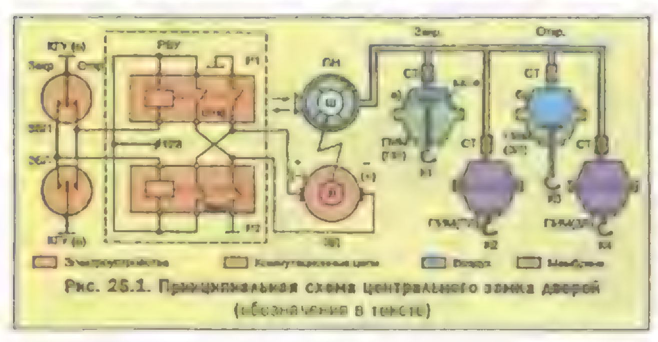


Рис. 25.1. Принципиальная схема центрального замка дверей (обозначения в тексте)

В летний период центральный замок срабатывает практически мгновенно. Зимой может возникнуть ситуация, при которой срабатывание "затягивается". Это происходит потому, что при низкой температуре смазка рычажных приводов густеет, а упругие мембраны становятся более жесткими и с первой попытки не доводятся в положение самофиксации. В таком случае поворот номерного ключа в замковом барабане следует повторить несколько раз.

Следует также отметить, что на ряде автомобилей замковые барабаны уста-

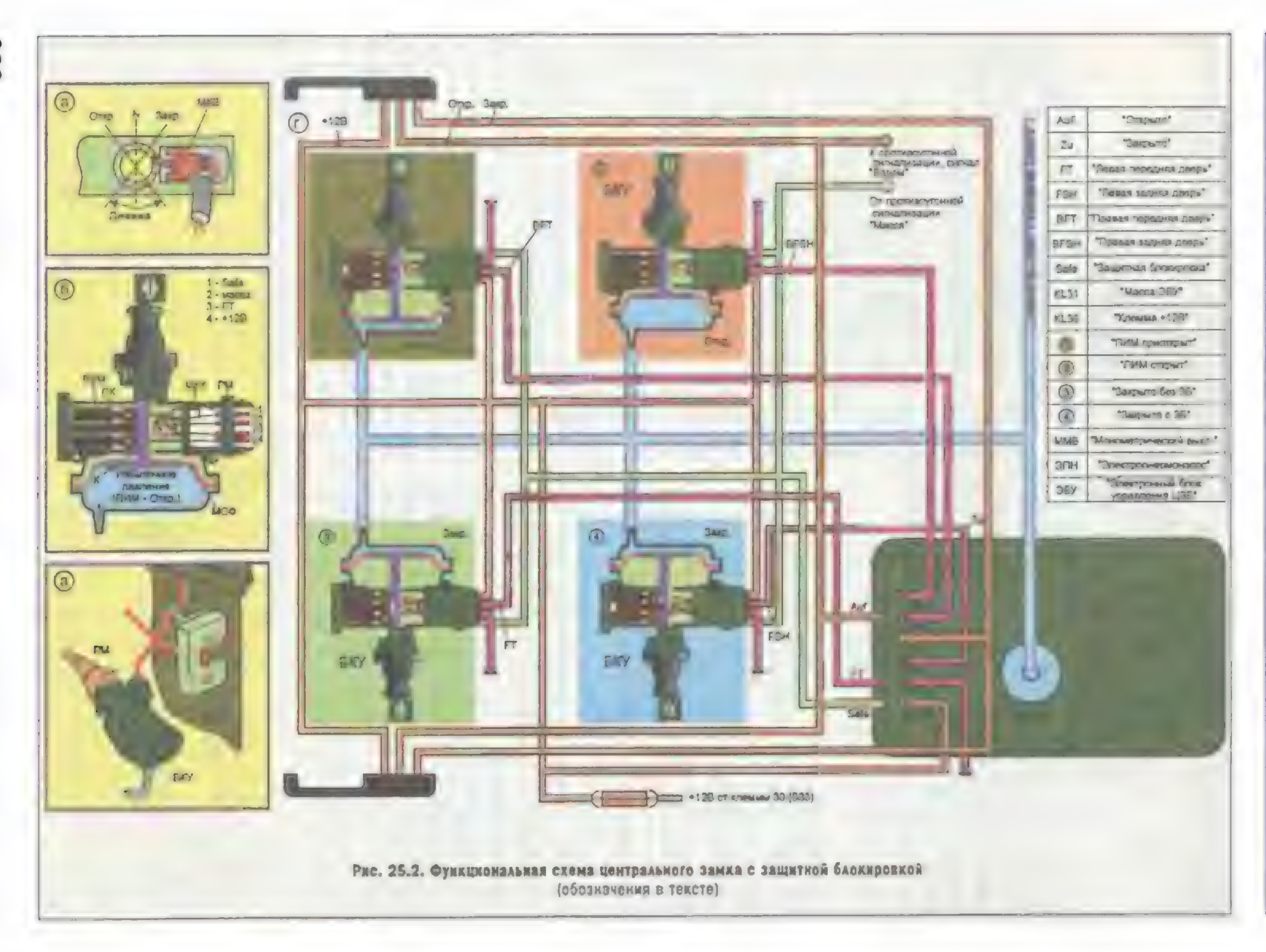


Рис. 25.2. Функциональная схема центрального замка с защитной блокировкой
(обозначения в тексте)

навливаются не отдельно от дверных ручек, а помещены в наружные рукоятки передних дверей. Это дает возможность открывать замки передних дверей не только с помощью центрального замка, но и с помощью обычного механического провода.

25.2. Защитная блокировка центрального замка автомобильных дверей

Уже было сказано, что центральный замок (ЦЗ) — это устройство комфортного назначения. Но при некоторой доработке ЦЗ может выполнять функции противовзломного устройства. Для этой цели ЦЗ дополняется элементами электромагнитной блокировки. Центральный замок с блокировкой (ЦЗБ) при запирании и отпирании дверей срабатывает так же, как и обычный (без блокировки). Специфика ЦЗБ заключается в том, что при попытке вскрыть любую запертую дверь автомобиля "нештатно" (например, поднятием запорных кнопок или внутренних рукояток взломным приспособлением) происходит срабатывание блокирующих электромагнитов, вмонтированных в пневмоприводные исполнительные механизмы (в ПИМы), и одновременно включается электропневмонасос на разрежение. Запорные керны электромагнитов механически блокируют все рычажные приводы замков дверей, а разрежение в ПИМах противодействует попытке поднять запорную кнопку или открыть дверь внутренней рукояткой.

• На рис. 25.2 приведена функциональная схема системы "центральный замок с защитной блокировкой" (ЦЗБ), которая устанавливается на немецких автомобилях "Volkswagen".

Новыми элементами системы ЦЗБ являются блокировочные устройства (БКУ), вмонтированные в ПИМы, которые включают в себя (рис. 25.2, б): блокирующий электромагнит (БЭМ) с подвижным керном (ПК); толкающий шток (К), закрепленный на самофиксирующейся мембране (МСФ); трехконтактный микровыключатель (МКК); четырехштырьковый разъем (РМ) для подключения БКУ к релейно-электронному блоку управления (ЭБУ-ЦЗБ). В ЭБУ-ЦЗБ устанавливается третье реле Р3. Электросхема дополняется микроэлектронным коммутатором ожидания.

Перечисленные устройства предназначены для включения и отключения блокирующих электромагнитов по программе, заложенной в схемное решение защитной блокировки.

• Защитная блокировка реализует следующую программу функционирования системы ЦЗБ.

Если двери автомобиля открываются с помощью центрального замка "штатно" (номерным ключом), то защитная блокировка отключается подачей сигнала "Откр." (+12 В) на клемму "Auf" ЭБУ-ЦЗБ от микровыключателя (МКВ) замкового барабана (см. рис. 25.2, а). В таком состоянии защитная блокировка не срабатывает при любых манипуляциях с запорными кнопками и рукоятками дверей.

При запирании центрального замка номерным ключом контакты МКВ выдают сигнал "Закр" (+12 В) на клемму "Zu" в ЭБУ-ЦЗБ, где срабатывает реле Р2 на закрытие всех замков автомобиля. Одновременно сигнал "Zu" подготавливает защитную блокировку к работе — включается микроэлектронный коммутатор ожидания сигналов FT, BFT, FSH, BFSH от соответствующих микроконтактов МКК в дверных блокировочных устройствах БКУ. В таком состоянии толкающие штоки $K_1...K_4$ в ПИМах не блокируются, так как обмотки электромагнитов БЭМ пока обесточены (см. рис. 25.2, поз. г3).

При любом нештатном открывающем воздействии на рычажные органы замка (рис. 25.2, в) в одной из запертых дверей (например, при попытке приподнять запорную кнопку) микроконтактами МКК этой двери включаются электродвигатель пневмонасоса и блокирующие электромагниты во всех четырех дверях. При этом замки дверей надежно заблокируются, так как керны БЭМ войдут в запорные щели толкающих штоков К, а в пневмокамерах ПИМов будет поддерживаться разрежение — 0,5 бар (см. рис. 25.2, поз. г1). Следует отметить, что защитная блокировка замков дверей активизируется только на время взломного воздействия на запорные рычажные приводы. После прекращения взломного воздействия защитная блокировка выключается, но замки дверей остаются в запертом состоянии.

25.3. Противоугонное устройство автомобиля с транспондерным ключом*

На импортных автомобилях, выпускавшихся до 1993 года, применялся обычный механический номерной ключ, который являлся общим для замков зажигания, дверей, крышки багажника и лючка или пробки бензобака. Механическая личинка позволяла получать до тысячи вариантов номерных ключей для одной и той же конструкции замкового барабана.

С целью защиты автомобиля от угона в 1994 году был разработан и стал применяться автомобильный ключ с транспондером. В дословном переводе с английского "Транспондер" — это передатчик-ответчик (transmitter-responder), а в приложении к автомобильному ключу обозначает — передатчик, работающий по принципу ответа на запрос. Автомобильный транспондер может быть выполнен с применением различных физических принципов. Главное требование к транспондеру — исключительно малые размеры, та-

** В иностранной технической литературе встречается другое название: "Иммобилайзерная система" (Immobilizer — устройство, создающее неподвижность).*



Рис. 25.3. Ключ замка зажигания с транспондером:
1 — заводской шильдик; 2 — номер идентичности; 3 — код ключа; 4 — пластмассовая головка; 5 — механический ключ; 6 — механическая личинка замка зажигания; 7 — антенные катушки; 8 — контрольная лампа КЛ-транспондера (внешний вид); 9 — транспондер (резонирующий стержень).

кие, чтобы он мог поместиться в пластмассовую головку ключа (рис. 25.3, поз. 9).

В большинстве случаев автомобильный транспондер — это микроминиатюрный резонирующий стержень. При облучении такого транспондера энергетическим полем он активируется и излучает электромагнитную волну, которая несет на себе постоянный код транспондера. Таким образом, транспондер представляет собой своеобразное приемно-передающее устройство, которое работает как ответчик на запрос без потребления сторонней электроэнергии (выпускаются транспондеры и с питанием от гальванического элемента, вмонтированного в ключ). С помощью транспондера можно реализовать кодирование около 100000 номеров для автомобильных ключей. Подобрать или "прочитать" код транспондерного ключа без специальной аппаратуры невозможно. Более того, двух транспондерных ключей с одинаковыми постоянными кодами для разных автомобилей практически не существует.

Принцип действия противоугонного устройства автомобиля с транспондерным ключом можно пояснить с помощью схемы, показанной на рис. 25.4.

Микроминиатюрный транспондер (ТП) залит в пластмассовую головку обычного номерного ключа (КЗ), который, как и прежде, является общим для всех замков автомобиля с механической личинкой. Если не брать во внимание транспондер, то такой автомобильный ключ ничем не отличается от своих стандартных прототипов.

На современном автомобиле транспондер активируется только тогда, когда ключ поворачивается в замке зажигания, хотя возможны и другие варианты, например срабатывание транспондера при вставлении ключа в дверной замок. Для активации транспондера (ТП) вокруг личинки (ЛЗ) замка зажигания помещены две специальные катушки-антенны, одна из которых (катушка КИ) излучает электромагнитную волну от генератора (ГИ), смонтированного в электронном блоке противоугонной защиты (БПЗ), а другая (катушка КП) принимает обратную волну от транспондера и передает ее в приемник (ПР). Так с помощью бесконтактного приемно-передающего устройства постоянный код транспортного ключа считывается и записывается в оперативную память БПЗ. Электронный блок (БПЗ), входящий в состав противоугонного устройства, также закодирован, и для его первоначального включения в работу необходимо знание "старт-кода".

"Старт-код" — это цифровая последовательность, составленная из двух кодов: секретного (пускового) и кода транспондерного ключа. Старт-код вводится в ячейки ПП1 и ОП2 памяти электронного блока БПЗ с помощью фирменного диагностического прибора (ДП)* каждый раз после установки на автомобиль аккумуляторной батареи (АКБ): первично — в заводских условиях, повторно на СТО после ремонта автомобиля со снятием АКБ. При случайном или несанкционированном отключении АКБ завести двигатель автомобиля без повторного ввода старт-кода невозможно.

Для формирования старт-кода в постоянную память противоугонного устройства сначала записывается секретный (пусковой) код, а затем номера-коды

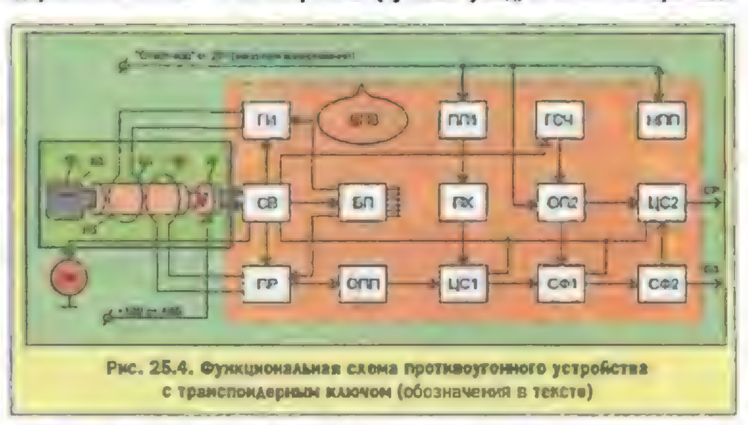


Рис. 25.4. Функциональная схема противоугонного устройства с транспондерным ключом (обозначения в тексте)

* Например, для немецких автомобилей "Audi" и "Volkswagen" фирменным диагностическим прибором является сканерный тестер VAG-1551 с дисплеем на жидких кристаллах. Этот тестер имеет кнопочное устройство ввода.

трех транспондерных ключей, прилагаемых к автомобилю при продаже (всего в постоянную память противоугонного устройства могут быть записаны кодовые номера восьми транспондерных ключей).

Для каждого конкретного исполнения противоугонного устройства секретный код является индивидуальным и в других вариантах не повторяется. Хранятся номера секретных кодов вместе с заводскими номерами противоугонных устройств в специальном каталоге завода-изготовителя. Каталог имеется и на фирменной станции технического обслуживания (СТО).

Секретный и заводской номера указываются также под тонким слоем защитной пленки на шильдике (см. рис. 25.3, поз. 1) брелка заводских ключей. Защитная пленка при необходимости легко стирается. Если шильдик затерян, то секретный код можно определить по заводскому номеру. Этот номер называется также номером идентичности и "зашит" в энергонезависимую (неразрушающуюся) постоянную память БПЗ (НПП). Номер идентичности может быть вызван из НПП на дисплей диагностического прибора ДП по цифровому адресу "Вызов БПЗ" (адрес указывается в таблице диагностических кодов данного автомобиля).

• С учетом вышесказанного, в противоугонном устройстве заложен следующий принцип действия (см. рис. 25.4).

После включения зажигания ключом КЗ через контактную группу (КГ) и контрольную схему включения (СВ) излучатель энергетического поля (генератор ГИ) и приемник (ПР) ответного сигнала от транспондера (ТП) включаются в работу. Катушка-антенна КИ генератора ГИ излучает энергетическое поле, а катушка КП принимает сигнал. Сигнал от катушки-антенны КП через приемник ПР передается в оперативную память (ОПП) и далее в первый регистр цифровой схемы сравнения ЦС1. На второй регистр этой же схемы подается код одного из трех разрешенных транспондерных ключей (коды записаны в постоянную память ПП1 и подаются в схему ЦС1 поочередно с помощью переключателя кодов ПК). В схеме сравнения ЦС1 кодовое содержание первого и второго регистров сравниваются и, если коды совпадают, на схему формирования СФ1 поступает сигнал СВ ("свой"), а на приборной панели загорается сигнальная лампа ЛК. Если в замок зажигания был вставлен ключ с неразрешенным кодом транспондера или замок был вскрыт взломом, то коды в регистрах схемы ЦС1 не совпадут, сигнал "свой" не поступит, а лампа ЛК начнет мерцать. Двигатель запускаться не будет.

По сигналу "свой" код транспондера от схемы ЦС1 поступает на первый регистр цифровой схемы формирования (СФ1) рабочего переменного кода. На второй регистр этой схемы поступает "сохраненный" от предыдущего выключения ДВС (в ячейке ОП2) код случайного числа генератора ГСЧ случайных чисел (ДВС пока не включен).

По этим двум кодам в схеме СФ1 составляется рабочий переменный код (РПК), который передается через схему формирования СФ2 на первый регистр второй схемы сравнения ЦС2. На второй регистр схемы ЦС2 поступает код предыдущего случайного числа, записанного при последней остановке двигателя в оперативную память ОП2 генератора ГСЧ. Если коды совпадают, что свидетельствует об отсутствии попыток несанкционированного отключения системы противоугонной защиты, то сигнальная лампа ЛК погаснет, а на ЭСАУ-Д выдается сигнал разрешения (СР) на штатную работу ДВС. Если по какой-либо причине в одной из двух схем (СФ1 и ЦС2) коды не совпадут, то первоначально двигатель запустится, но на ЭСАУ-Д поступит сигнал (СЗ) запрета, который формируется в схеме СФ2. По этому сигналу система впрыска топлива и система электроискрового зажигания двигателя отключатся и через 2-3 секунды двигатель заглохнет. Для последующего запуска потребуется перекодировка.

Так реализуется защитная электронная блокировка двигателя противоугонным устройством с транспондерным ключом*. Электронный блок противоугонной защиты (БПЗ) выполняется в виде отдельного конструктивного устройства, помещенного в герметичный литой корпус.

25.4. Подключение центрального замка с защитной блокировкой к противоугонной сигнализации автомобиля

Противоугонная сигнализация (ПУС) может быть световой (проблески габаритных огней), звуковой (гудки звукового сигнала) или комбинированной (одновременная подача световых и звуковых сигналов).

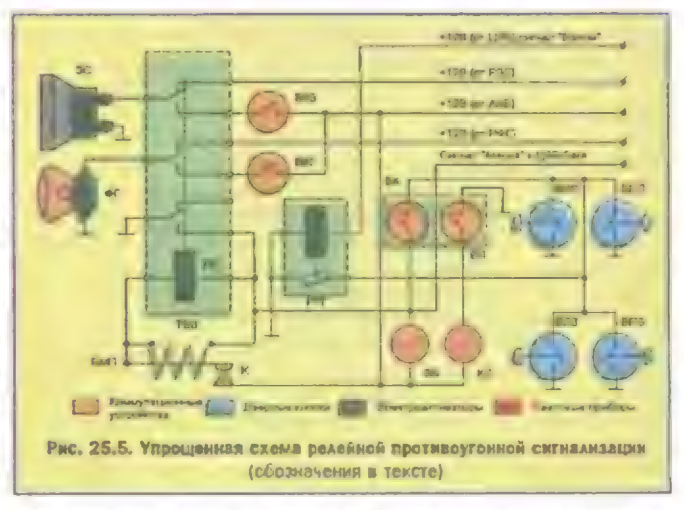
Существует несколько разновидностей ПУС, начиная от электроконтактных и заканчивая микроэлектронными с ультразвуковым управлением. И любая из них может быть подключена к электросхеме центрального замка автомобильных дверей (ЦЗБ).

При объединении функций центрального замка с защитной блокировкой и противоугонной сигнализации, охранная система автомобиля получает совершенно новое качество: сигналы тревоги будут включаться не только при несанкционированном вскрытии дверей, но и при попытке открыть замок двери "штатным" ключом или разблокировать замки дверей каким-либо приспособлением.

• Совместную работу двух устройств ЦЗБ и ПУС можно пояснить с помощью электрической схемы, изображенной на рис. 25.5.

** Следует иметь в виду, что на автомобиле, оснащенном противоугонным устройством с транспондерным ключом, может быть заблокирована работа бортовых электронных устройств (например, радиомагнитолы и мобильного телефона).*

На схеме показана релейная комбинированная противоугонная сигнализация (КПС), в которой продолжительность подачи сигналов тревоги и их повторяемость "запрограммированы" с помощью реле РА и термовременного выключателя ТВВ. Подключение ЦЗБ к схеме ПУС реализуется с помощью герконового реле РАГ. Постановка объединенной схемы "на охрану" и снятие "с охраны" выполняется двумя контактными группами герконового реле, входящего в состав электронного устройства включения и выключения сигнализации (устройство на схеме не показано, заменено спаренным тумблером ВК-ВЛ). Имеется контрольная лампа КЛ включения сигнализации (обычно используется мерцающий светодиод)*.


Рис. 25.5. Упрощенная схема релейной противоугонной сигнализации (обозначения в тексте)

Если охрана включена (ВК-ВЛ замкнуты), то при вскрытии любой двери автомобиля одна из дверных кнопок (на рис. 25.5, поз. ВЛП, ВЛЗ, ВПП, ВПЗ) замыкается и реле РА переходит в режим самоудержания. Контакты реле РА включают габаритные фонари ФГ и звуковой сигнал ЗС на подачу сигналов тревоги. Одновременно в термовременном выключателе ТВВ начинает нагреваться биметаллическая пластина БМП, на которой установлен контакт "К". Габаритные фонари ФГ и звуковой сигнал ЗС останутся включенными до тех пор, пока контакт "К" не разомкнется. Если к этому времени вскрытая дверь будет закрыта, то противоугонная сигнализация вновь перейдет в состояние "Охрана включена".

Если же дверь останется открытой, то после остывания биметаллической пластины контакт "К" замкнется, а сигналы тревоги снова сработают. Противоугонная сигнализация периодически "включает-выключает" сигналы тревоги (повторяемость через 2-3 секунды), до тех пор, пока не будет отключена.

Схема КПС может быть установлена на автомобиле, в котором звуковой сигнал и габаритные фонари включаются как по "массе", так и по цепи "+12 В" через специальные коммутационные реле (РЗС и РФГ). Тогда звуковой и световой сигналы тревоги могут подаваться и одновременно, и каждый по отдельности (коммутация с помощью дополнительных выключателей ВКЗ и ВКГ). Это позволяет отключать звуковую сигнализацию, когда ее использование нежелательно. В некоторых случаях нужна только звуковая сигнализация, тогда габаритные фонари могут быть отключены.

** Подобный компонентный состав имеет японская релейная противоугонная система "Omron НЗУ-4 (Timer)", которая работает на автономный многотональный звуковой сигнал, изменяющий свою тональность по определенной программе, и на световую сигнализацию автомобиля "Мигают все указатели поворотов".*

Если центральный замок дополнительно оборудован защитной блокировкой, то при ее срабатывании (еще до вскрытия дверей) охранная сигнализация начнет подавать сигналы тревоги. Для выполнения этой функции на схему сигнализации от схемы ЦЗБ подается сигнал +12 В "ВЗЛОМ". Во время подачи сигналов тревоги защитная блокировка постоянно включена сигналом "масса" к ЦЗБ.

В заключение следует отметить следующее:

1. По "Международным правилам дорожного движения" подача звуковых сигналов в городе запрещена. Именно поэтому автозаводы защитную звуковую сигнализацию на выпускаемые автомобили долгое время не устанавливали. Тем не менее в экстремальных ситуациях подача звуковых сигналов не запрещается. Это позволяет использовать звуковую сигнализацию как средство защиты автомобиля от угона, что часто приводит к конфликтам с населением. Поэтому наряду со звуковой стала широко применяться и световая противоугонная сигнализация. Оба вида тревожных сигналов могут включаться раздельно.

2. Для повышения надежности противоугонной защиты на современном легковом автомобиле могут быть установлены три вида систем:

— центральный замок с защитной блокировкой;
— охранная система с транспондерным ключом;
— охранная сигнализация с подачей звуковых и световых сигналов тревоги.

3. Наряду с вышеописанными, уже разработан и ограниченно применяются целый ряд противоугонных и поисковых систем с использованием ультразвуковых и радиотехнических средств защиты и обнаружения автомобиля после угона. Такие системы в данном учебном пособии не рассматриваются.

СХЕМЫ АВТОМОБИЛЬНОГО БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Графическое изображение логических и функциональных взаимосвязей и соединений различных устройств автомобильного бортового оборудования выполняется в виде схем трех типов. Это: структурные, функциональные и принципиальные электрические схемы. В настоящей главе все три типа схем рассматриваются на примерах бортового оборудования немецких автомобилей.

26.1. Структурные схемы

Структурная схема сложного технического устройства составляется как самая обобщенная графическая модель. Такую модель иногда называют канонической и изображают в виде блок-схемы, на которой указываются системообразующие (структурно-логические) взаимосвязи [19].

На рис. 26.1 приведена структурная схема (каноническая модель) электронной системы автоматического управления двигателем (ЭСАУ-Д), в которой двигатель является объектом автоматического управления. Из чертежа видно, что структурная схема "описывает" совокупность ЭСАУ-Д и двигателя как единую и достаточно сложную информационно-энергетическую систему по самым общим внешним признакам ее функционирования. Такими признаками являются: входные потоки (А), выходные потоки (Б), потоки случайных внешних воздействий (В) и потоки бесполезных (чаще всего вредных) отходов (Г). Можно показать, что все эти внешние потоки состоят из материи трех видов: энергии, различных веществ (материалов) и информации*. Внешние материальные потоки как признаки функционирования технической системы проявляют себя по-разному. Например, техническое состояние двигателя может быть оценено по таким показателям бесполезных отходов, как акустические шумы (АШ) и химический состав выпускных отработавших газов (ВОГ). Это та информация, которая используется при проведении инструментальной технической диагностики ДВС. Механическая энергия газового потока выхлопных отработавших газов (ВОГ) используется на некоторых автомобилях для вращения турбины в подсистеме турбонаддува, а тепло ВОГ — для подогрева кузова. Таким образом, поток бесполезных отходов может стать частично полезным. Наличие веществ в бесполезных отходах очевидно — это все загрязнители, которые попадают в окружающую среду при работе ДВС.

● Опуская рассмотрение всех остальных внешних признаков функционирования технической системы, заметим, что каноническая модель, составленная как описание внешних материальных потоков, — это первый уровень моделирования сложной технической системы (голубой цвет на чертеже рис. 26.1).

* Об "информации" как об одном из видов материи см., например [20].

Второй уровень — это подробное описание всех периферийных материальных потоков и устройств системы. Покажем это на примере входных датчиков и потоков для ЭСАУ-Д. Входными материалами (веществами) для этой системы являются бензин (Б) из топливного бака (ББ), атмосферный воздух (В) в воздушном канале (АВ), охлаждающая жидкость (ОЖ) и моторное масло (ММ) в двигателе (ДВС). Энергетический поток ЭЭ поступает к электростартеру во время запуска ДВС от бортовой аккумуляторной батареи (АКБ). После запуска двигателя входным энергетическим потоком становится бензин, который выжигается в цилиндрах. Первичный (входной) информационный поток для ЭСАУ-Д — это сигналы от водительской педали газа (ПГ) и от колесных датчиков (КД) системы АБС, которая по отношению к двигателю выполняет функции электронной системы управления при неравномерном вращении ведущих колес во время страгивания автомобиля с места (функции системы ASR).

Описать компоненты можно и для случайных и для выходных потоков (см. текст к рис. 26.1).

Третий уровень моделирования с помощью структурных блок-схем включает в себя конкретизацию компонентов внутри технической системы на уровне их главных исполнительных функций (компоненты в зеленом прямоугольнике на рис. 26.1).

● Ценность канонической модели и построенных на ее основе структурных блок-схем состоит в том, что с их помощью можно легко и просто представить полный состав материальных потоков и технических устройств, которые принимают участие в работе данной сложной технической системы. При этом подробное схемотехническое решение системы не рассматривается.

Таким образом, канонические модели и структурные схемы являются инструментами системотехнического (структурно-логического), а не схемотехнического (предметного) моделирования.

26.2. Функциональные схемы

Функциональные схемы применяются на начальном этапе схемотехнических разработок для новой технической системы или при изучении уже разработанных и

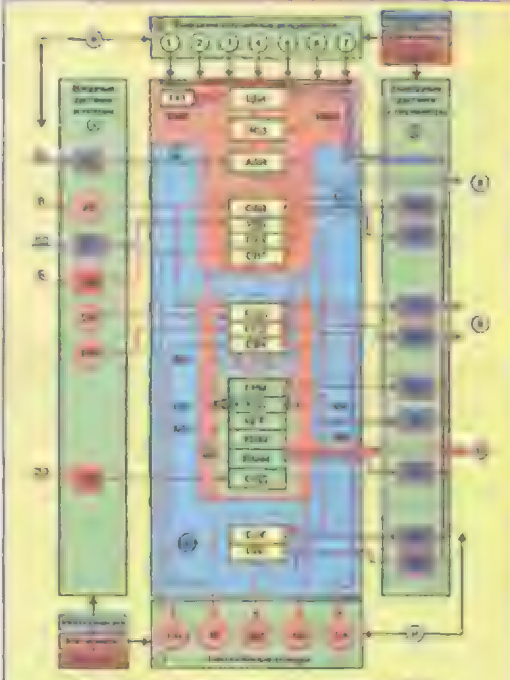


Рис. 26.1. Структурная блок-схема ЭСАУ Д (каноническая модель):

[illegible]

поступивших в эксплуатацию систем. Таким образом, функциональные схемы являются связующим звеном между более общим (структурные схемы) и конкретным частным (принципиальные схемы).

Функциональная схема отображает логическую взаимосвязь технических устройств внутри замкнутой системы с указанием ее рабочих входов и полезных выходов и составляется для каждой подсистемы бортового оборудования в отдельности. Полные функциональные схемы (сразу на все бортовое оборудование автомобиля) не составляются.

- Функциональная схема может быть обобщенной, когда на одном чертеже изображаются устройства с различными принципами действия (механические, гидравлические, электрические, электронные и прочие). Такие схемы наиболее ярко отображают логику построения сложной системы в целом. В качестве примера можно рассмотреть обобщенную функциональную схему системы впрыска бензина "L-Jetronic", которая приведена на стр. 158 (рис. 17.3).

Как видно из чертежа этого рисунка, на схеме изображены воздушные каналы (синий цвет), бензин и бензомагистрали (красный цвет), газы (желтый цвет), электрические устройства и электроцепи (зеленый цвет), а также некоторые конструктивные элементы системы (серый цвет). Разобраться в устройстве и в принципе действия системы "L-Jetronic" по полной функциональной схеме достаточно просто.

- В некоторых случаях составляют упрощенную функциональную схему. Это когда на чертеже изображаются взаимосвязи только одной физической (например, электрической или гидравлической) природы. Такая схема для той же системы "L-Jetrinic" приведена на стр. 157 (рис. 17.2). Из чертежа видно, что схема отображает только электрические функциональные связи.

- Для практического применения в условиях эксплуатации упрощенные функциональные схемы часто делают предметными, то есть вместо условных обозначений отдельных компонентов в виде "черных блоков" (квадраты, треугольники и т.п.) изображают их натуральный внешний вид. Такая функциональная схема для комплексной системы "Motronic M3/2" изображена на стр. 165 (рис. 18.4). Главное преимущество предметной функциональной схемы — ее наглядность, благодаря чему значительно проще отыскать ту или иную деталь на автомобиле во время его ремонта. Но самой полной и наиболее полезной для поиска неисправностей является принципиальная электрическая схема.

26.3. Принципиальные электрические схемы

Классическая принципиальная электрическая схема — это развернутое и абсолютно подробное графическое изображение токопроводных соединений на уровне мельчайших неразборных деталей данного блока или

устройства. Такими деталями долгое время являлись резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, полупроводниковые приборы, реле, коммутационные элементы и соединительные провода между ними (печатные платы). Для наглядности и сравнения с указанными структурными и функциональными схемами на стр. 161 (рис. 17.6) показана принципиальная схема электрических соединений в системе впрыска "LE-Jetronic".

С появлением микросхем неразборными деталями устройства стали целые электронные блоки с заданными функциональными свойствами, и теперь принципиальные схемы стали составляться на уровне микроэлектронных блоков. Внутреннее содержание отдельного неразборного блока, выполненного на микросхеме, никого не интересует, так как такой блок не ремонтируется.

При еще более глубокой интеграции электрических схем на одном полупроводниковом монокристалле могут создаваться не только функциональные блоки электронных устройств, но и сами эти устройства в полностью завершенном виде, например микропроцессоры. Такие устройства на принципиальной схеме изображаются в виде "черных ящиков" с множеством пронумерованных выходов и входов.

Микропроцессоры оснащаются блоками электронной памяти, а также внутренней периферией, в которую входят входные преобразователи аналоговых сигналов в цифровые коды, выходные усилители, внутренний интерфейс. Получается функционально завершенный электронный блок управления (ЭБУ), который применительно к автомобилю часто называется контроллером или авторегулятором.

Принципиальная схема цифрового контроллера, входящая в состав микропроцессорной системы зажигания и составленная из неразборных стандартных блоков (микросхем), показана на стр. 82 (рис. 9.5 в прямоугольнике "контроллер"). Эта схема больше напоминает функциональную, так как на ней нет конкретных электрических соединений. Но это только на первый взгляд. На самом деле соединения между микросхемами внутри контроллера так же, как и сами микросхемы, — неразборны и на схеме обозначены как интерфейсы.

В условиях автотранспортных предприятий (АТП) или станций технического обслуживания (СТО) контроллеры, как и любые бортовые ЭБУ, не ремонтируются, так как для обнаружения неисправных микросхем требуется специальное фирменное диагностическое оборудование и высококвалифицированный персонал.

26.4. Электрическая схема бортсети автомобиля

Принципиальная электрическая схема всех токопроводных соединений на борту автомобиля называется схемой электрооборудования.

Электрооборудование современного легкового автомобиля — это сложный комплекс электрических машин и аппаратов, электронных блоков управления контрольно-измерительных и световых приборов, различных реле, исполнительных электромагнитов в автотронных системах, выключателей, предохранителей и соединительных проводов. Все это объединяется в общую электрическую однопроводную бортсеть с использованием металлических деталей двигателя и кузова в качестве второго (отрицательного) провода — "массы". Проводная часть бортсети — это в основном жгуты электропроводов, несущие и разводящие по потребителям положительный потенциал от системы электроснабжения. Все соединения под током более одного ампера (кроме стартерных цепей) защищены предохранителями. Провода обеспечивают также информационную электросвязь между компонентами бортового оборудования. Часть таких проводов экранирована. От надежности электрооборудования и токопроводных соединений в значительной степени зависит эффективность эксплуатации автомобиля — расход топлива, загрязнение окружающей среды, комфортность и безопасность движения и т.д.

Номенклатура и число изделий электрооборудования на автомобилях, а также выполняемые ими функции постоянно расширяются. В настоящее время применяются новые, более сложные по конструкции и схемным решениям изделия и системы на базе электронной и микропроцессорной техники. Создаются автотронные системы управления. Электрооборудование современного автомобиля включает в себя более двухсот изделий, свыше 1,5 тыс. контактов и около 1,5 км соединительных проводов. Его стоимость постоянно растет и в настоящее время составляет 25...30% от стоимости автомобиля. Усложнение электрооборудования и широкое применение электроники имеют и отрицательную сторону. Значительно возросла сложность технического обслуживания и ремонта бортового оборудования, что привело к необходимости привлечения высококвалифицированного персонала на АТП и СТО, а также к использованию специального дорогостоящего диагностического оборудования и фирменного ремонтного инструмента.

На современном автомобиле выделяют группы устройств, образующих самостоятельные системы с определенными функциями в общей схеме электрооборудования автомобиля. К ним относятся: системы электроснабжения, пуска, управления двигателем (впрыском топлива и зажиганием), автотронная система антиблокировки тормозов (ABS), системы контрольно-измерительных приборов, освещения, световой и звуковой сигнализации; подсистемы управления стеклоочистителем и стеклоомывателем, управления автоматической коробкой передач, блокировки дверей; радиооборудование и многое другое. Каждая группа устройств включает в свой состав коммутационную аппаратуру (реле, выключатели, переключатели), предохранители, провода, соединительные колодки и штекеры. Все это изображается на общей принципиальной электрической

схеме автомобильной бортсети. В качестве примера на стр. 136 (рис. 13.23) приведен фрагмент принципиальной схемы электрооборудования для автомобиля AUDI-80 (до 1991 г.). В приведенный фрагмент входят электрические и электронные устройства системы впрыска бензина "KE-Jetronic". Таким образом, принципиальная схема графически отображает общий состав устройств и систем электрооборудования, дает полное представление об электрических взаимосвязях всех ее элементов. По такой схеме легче проследить пути тока, проанализировать работу отдельных приборов. Наглядность, полнота и простота принципиальной схемы обуславливают ее применение в процессе диагностирования и ремонта электрооборудования автомобилей для обнаружения неисправностей как отдельных элементов, так и блоков в целом, а также для поиска повреждений в соединительных проводах и разъемах.

• Отдельно следует сказать о перспективе совершенствования электрооборудования в части электрической проводки на борту автомобиля. Уже в ближайшие годы предполагается заменить дорогостоящие и сложные жгуты медных проводов на одну общую для всех электропотребителей токопроводную шину. По такой шине будет разводиться положительный потенциал от системы электроснабжения аналогично тому, как разводится отрицательный потенциал по "массе" автомобиля. При этом включение и выключение каждого потребителя будет осуществляться от соответствующей клавиши на водительском пульте управления, который подключается к общему для всех потребителей и разветвленному в нужных местах световолоконному кабелю. Возможен вариант управления, при котором сигнальным проводом будет сама токопроводная шина (с использованием высокочастотной селекции в потоке управляющих радиосигналов). Подсистема электропроводки с общей токовой шиной и с единым интерфейсным каналом управления получила название "мультиплексная проводка". В мультиплексной проводке водительский пульт управления содержит источник безэнтропийной энергии (свет или радиочастоту) и шифратор сигналов управления, а каждый потребитель — избирательный дешифратор, выделяющий "свой" сигнал из общего потока. Подсистема мультиплексной проводки значительно надежнее, проще при поиске неисправностей, легко может быть оборудована электронными схемами самодиагностики, и главное, исключает использование дорогостоящей меди. Ясно, что принципиальная схема электрооборудования с мультиплексной проводкой также значительно упростится, так как в ней исчезнет электропроводная деталировка.

26.5. Схема электрооборудования автомобиля "Audi-A4"

Чтобы изучить логику построения немецких схем электрооборудования и научиться ими пользоваться, достаточно рассмотреть одну из них на конкретном автомобиле.

На рис. 26.2...26.6 представлена схема электрооборудования автомобиля "Audi-A4" (вып. 1995 г.) с 6-ти цилиндровым V-образным бензиновым двигателем AAH (рабочий объем 2,8 л), которая выполнена в соответствии с немецкими стандартными нормами DIN.

• Перечень элементов электрооборудования автомобиля и их буквенно-цифровые обозначения на схеме представлены в табл. 26.1. В табл. 26.2 дана информация о контактно-штекерных колодках. В табл. 26.3 приведены обозначения внутренних соединений в жгутах проводов. В табл. 26.4 расшифрованы обозначения точек "массы" автомобиля. В табл. 26.5 даны буквенные обозначения цвета проводов, которые (обозначения) используются на схеме.

Схема электрооборудования разбита на 20 отдельных функциональных блоков, в которые могут входить устройства, схемы или целые системы. Каждый отдельный функциональный блок состоит из отдельных электрических компонентов и их цепей. Функциональные блоки, устройства, схемы, системы и их составные компоненты располагаются на чертеже в длинный ряд друг за другом и имеют сквозную нумерацию от 15 до 237. Снизу схема ограничена горизонтальной линией под № 31, которая изображает отрицательный полюс электрической цепи, т.е. "массу" автомобиля. Элементы электрической цепи соединены соответствующими цветными проводами, которые на схеме имеют цветовое обозначение буквами (см. табл. 26.5).

Если цепь разрывается маленьким прямоугольником с синей окантовкой, значит, цифра в нем указывает на то, в какой цепи продолжается провод. Например, символ 91 в электрической цепи под сквозным № 21 тягового реле стартера означает, что красный провод с черной полосой (ПЧ) продолжается в цепи под сквозным № 91 (где через символ 21 подключается к штекеру "50" выключателя зажигания D).

Для соединения проводов применяются штекерные колодки, которые надежно защищают выводы от воды и грязи, что способствует устойчивой работе системы электрооборудования. Согласно нормам DIN, отдельные выводы штекерных колодок разнесены в схеме по электрическим цепям. Поэтому штекерное соединение, кроме буквенного обозначения "T", имеет дополнительную цифровую индикацию (см. табл. 26.2). Например, T6z/3 — это 3-й вывод шестиштекерной колодки Z (колодка красного цвета, расположенная в E-блоке моторного отсека).

Связующими узлами всей бортсети автомобиля являются монтажные блоки, в которых помещены различные реле и предохранители. Часть этих реле изображена в верхней части электрической схемы, которая окрашена в розовый цвет. Розовое поле на чертеже представляет собой печатную плату монтажного блока для установки реле со всеми цепями питания — "30", "15", "X", "31" (в проводе "30" — положительный потенциал аккумуляторной батареи; провод "15" — от клеммы "15" выключателя зажигания (+12 В при включении);

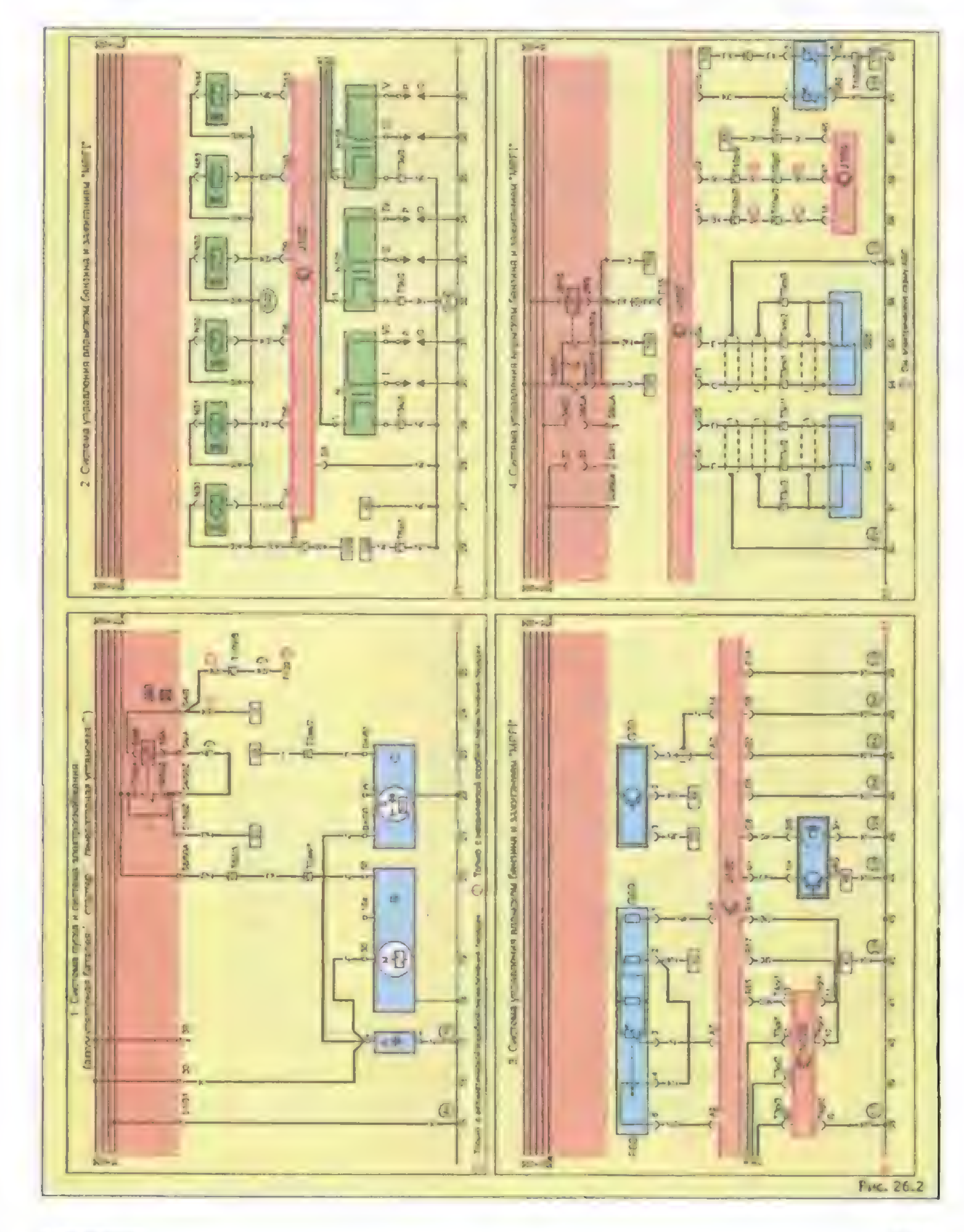

1. Система пуска и система электроснабжения
2. Система управления впрыском бензина и зажиганием "MPFI"
3. Система управления впрыском бензина и зажиганием "MPFI"

Рис. 26.2

5. Система управления впрыском бензина и зажиганием "MPFI"

J220

J217

Только с системой автоматического контроля

Только с кондиционером

6. Система управления впрыском бензина и зажиганием "MPFI"

N71

J220

N80

N156

G28

G61

7. Выключатель зажигания D, разгрузочное реле J59 для шины "X"

8. Электросхемы наружной световой сигнализации

F

F4

Рис. 26.3

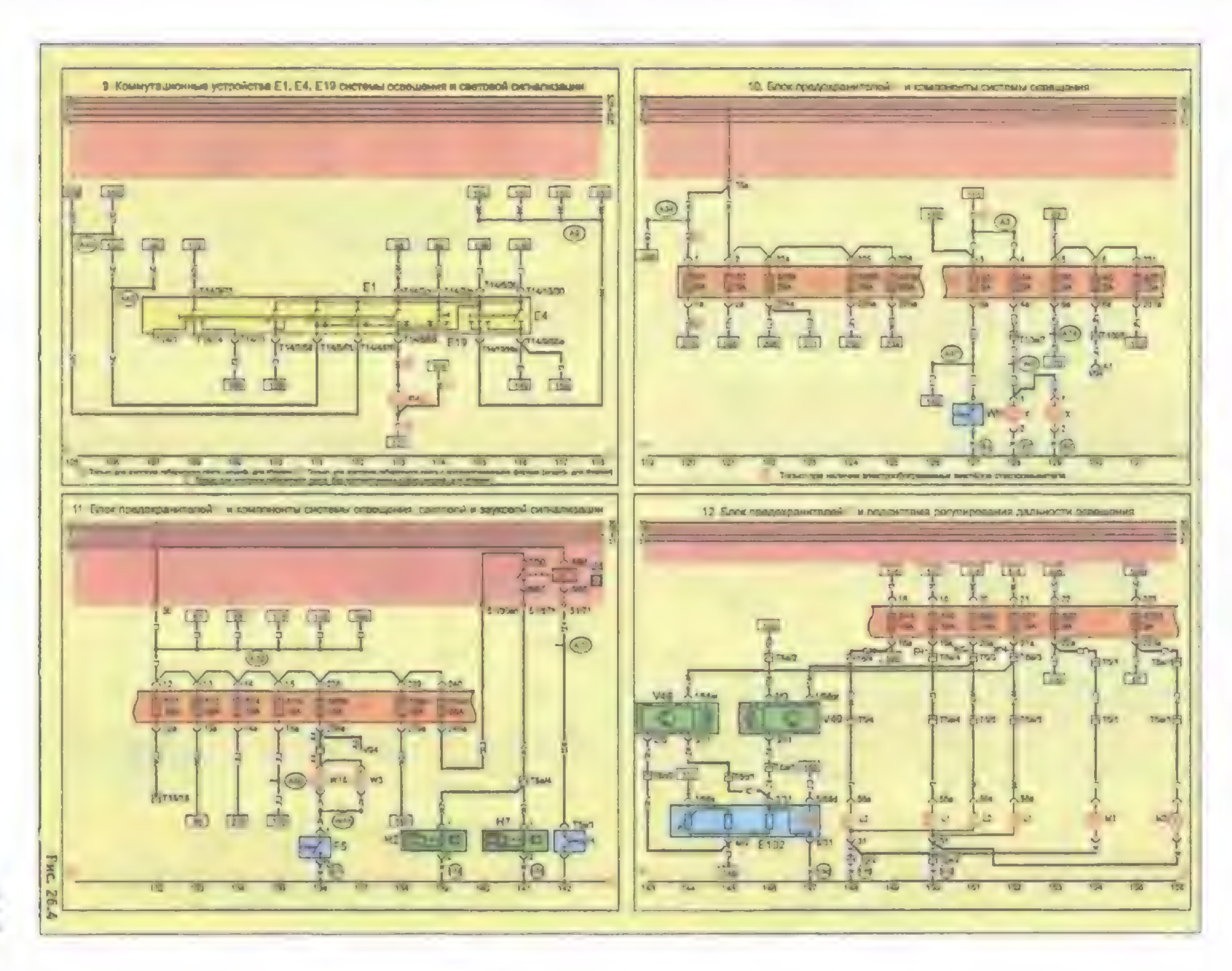

9. Коммутационные устройства E1, E4, E19 системы освещения и световой сигнализации
E1
E4
E19
10. Блок предохранителей … и компоненты системы освещения
11. Блок предохранителей … и компоненты системы освещения, световой и звуковой сигнализации
12. Блок предохранителей … и подсистема регулирования дальности освещения
V48
V49
E102

Рис. 26.4

13. Блок предохранителей S, подключение приемопередающего устройства J347, прикуриватель U1, выключатель задних ПТ фар E18

14. Контрольные лампы K в комбинации приборов RR, датчики F1, F9, G8, G68 и ЭБУ контроля J268

15. ЭБУ контроля J268 в комбинации приборов RR, подключение ABC, электробензонасос G6

16. Комбинация приборов RR, ЭБУ контроля J268, контрольные лампы K, датчики F66, G

Рис. 26.5

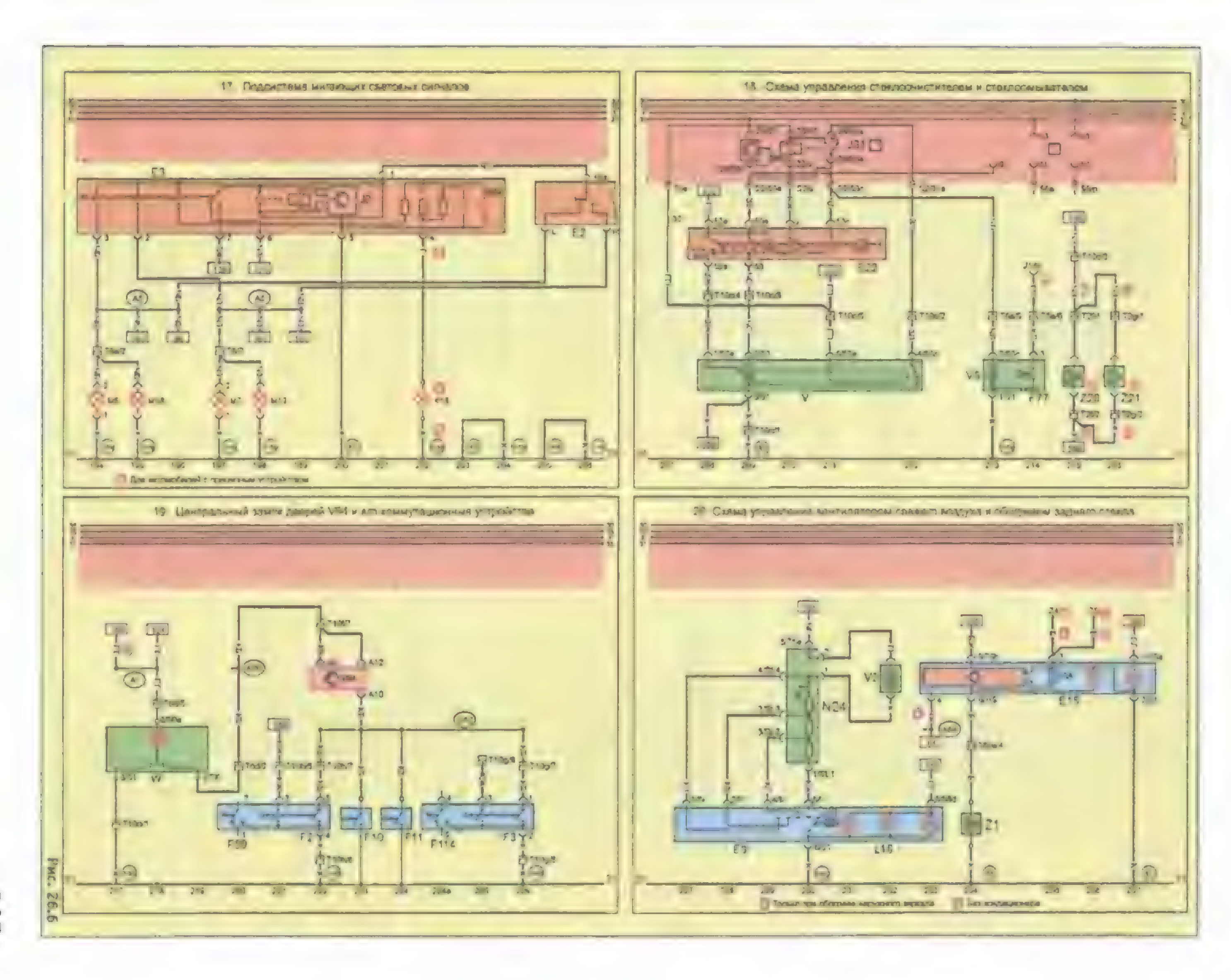

17. Подсистема мигающих световых сигналов
E3
E2
18. Схема управления стеклоочистителем и стеклоомывателем
J31
V
V5
F77
Z20
Z21
19. Центральный замок дверей VW и его коммутационные устройства
V
F59
F2
F10
F11
F114
F3
20. Схема управления вентилятором свежего воздуха и обогревом заднего стекла
V2
N24
E15
E9
L16
Z1

Рис. 26.6

Таблица 26.1. Перечень и буквенно-цифровые позиционные обозначения элементов схемы электрооборудования автомобиля "Audi-A4"

Позиционное обозначение	Наименование элемента схемы	Порядковый номер позиции на схеме
A	Аккумуляторная батарея	17
B	Стартер	19
C	Генераторная установка	22
D	Выключатель зажигания	87–93
E1	Центральный переключатель света	108–113
E2	Переключатель указателей поворота	206
E3	Выключатель аварийной сигнализации	194–204
E4	Выключатель световой сигнализации и ближнего света	115, 116
E9	Переключатель вентилятора свежего воздуха	227–233
E15	Электронный выключатель обогрева заднего стекла (с подсветкой)	233–237
E18	Выключатель заднего противотуманного света	166, 167
E19	Выключатель стояночного огня	114
E20	Регулятор освещения переключателей и приборов	190e
E22	Переключатель стеклоочистителя	[illegible]–211
E87	[illegible] (точка подключения)	72, 188, [illegible]
E102	Регулятор дальности освещения фар	144–147
F	[illegible]	[illegible]
F1	Датчик аварийного давления масла	181
F2 F3 F10 F11	[illegible] передней, правой передней, левой задней и правой задней дверей	[illegible] [illegible] 223 224
F4	Выключатель света заднего хода	103
F5	Выключатель освещения багажника	136
F9	Выключатель сигнализатора стояночного тормоза	172
F34	Датчик уровня тормозной жидкости	186
F59 F114	Выключатель системы управления центральным замком соответственно с левой и правой стороны	220 224a
F60	Выключатель холостого хода	30
F66	Датчик уровня охлаждающей жидкости	190
F77	Датчик уровня омывающей жидкости	214
F125	Многофункциональный переключатель	–
G	Датчик уровня топлива	–
G1	Указатель уровня топлива	190c
G2	Датчик температуры охлаждающей жидкости	62
G3	Указатель температуры охлаждающей жидкости	190b
G4	[illegible]	52
G5	Тахометр	190b
G6	Электробензонасос	183
G8	Датчик температуры масла	180
G9	Указатель температуры масла	190c
G21	Спидометр	[illegible]
G28	Датчик частоты вращения коленчатого вала двигателя	55
G39	Кислородный датчик I	82
G40	Датчик Холла	[illegible]
G61	Датчик детонации I	73
G62	Датчик температуры охлаждающей жидкости	61
G66	Датчик детонации II	75
G68	Датчик скорости автомобиля	177–178
G69	Датчик положения дроссельной заслонки	40–43
G70	Расходомер воздуха	41
G108	Кислородный датчик II	83
H	Выключатель звукового сигнала	142
H2 H7	Звуковой сигнал соответственно высокого и низкого тона	136 141
H3	Зуммер	190c
J2	Реле аварийной сигнализации	193, 200
J4	Реле звукового сигнала	142
J17	Реле электробензонасоса	56
J31	Реле стеклоочистителя и стеклоомывателя	209–211
J59	Реле шины "X"	86
J60	Реле автоматической коробки передач	23
J104	Электронный блок управления ABS	59 (125)
J166	Измерительный прибор	190c
J189	[illegible] подключения)	88, 214
J192	Электронный блок управления впрыском и зажиганием "MPFI"	27–83
J217	Электронный блок управления автоматической коробкой передач	[illegible]–71
J234	Электронный блок управления надувной подушкой безопасности (точка подключения)	174
J268	Электронный блок управления миниконтрольной системой	185 - 190a
J347	Электронный блок управления ультразвуковым датчиком (точка подключения)	166
[illegible]	Электронный блок управления противоугонной системой	71–73
K1	Контрольная лампа дальнего света фар	192
K2	Контрольная лампа неисправности генераторной установки	170
K4	Контрольная лампа габаритного света	113
K14	Контрольная лампа включения стояночного тормоза	172
K18	Контрольная лампа прицепного устройства	202
K29	Контрольная лампа предварительного [illegible]	176
K47	Контрольная лампа ABS	173
K64	Контрольная лампа аварийной сигнализации	200
K65 K94	Контрольная лампа соответственно левого и правого поворота	193 191
[illegible]	[illegible]	175
K75	Контрольная лампа надувной подушки безопасности	174
K95	Контрольная лампа противоугонной сигнальной системы	180
K117	Контрольная лампа противоугонной системы	177
L1 L2	Лампа соответственно левой и правой фары	150, 152 148, 151
L16	Лампы подсветки регулятора свежего воздуха	231–233
[illegible]	[illegible]	[illegible]
L46 L47	Лампа заднего противотуманного света соответственно левого и правого	95 102
M1 M3	Лампа переднего габаритного света соответственно левого и правого	154 156
M2 M4	Лампа заднего габаритного света соответственно левого и правого	100 97
M5 M7	Лампа переднего указателя поворота соответственно левого и правого	194 197
M6 M8	Лампа заднего указателя поворота соответственно левого и правого	96 101
M9 M10	[illegible] левого и правого	98 99
M16 M17	Лампа света заднего хода соответственно левого и правого	94 103

Продолжение таблицы 26.1

[illegible]	[illegible]	[illegible]
N18 N79	[illegible]	[illegible] [illegible]
N, N128, N158	Катушка зажигания соответственно № 1, 2 и 3	[illegible]
N30, N31, N32, N33, N83, N84	Электромагнитная форсунка соответственно № 1, 2, 3, 4, 5 и 6	[illegible]
N24	[illegible]	[illegible]
N71	[illegible]	77
N80	[illegible]	84
N112	[illegible]	[illegible]–41
N156	[illegible]	85
F	[illegible]	[illegible]
O	[illegible]	[illegible]
S	[illegible]	[illegible]
U1	[illegible]	[illegible]
V	[illegible]	[illegible]
V2	[illegible]	[illegible]
V5	[illegible]	213
V48 V49	[illegible]	[illegible] [illegible]
V54	[illegible]	[illegible]
W	[illegible]	[illegible]
W3	[illegible]	[illegible]
W6	[illegible]	[illegible]
W18	[illegible]	[illegible]
X	[illegible]	[illegible]
Y	[illegible]	[illegible]
Z1	[illegible]	[illegible]
Z4 Z5	[illegible] соответственно левого и правого [illegible]	[illegible] [illegible]
[illegible] [illegible]	[illegible]	[illegible] [illegible]
Z20 Z21	[illegible] соответственно левый и правый	[illegible] [illegible]

Таблица 26.2. Буквенно-цифровые обозначения контактно-штекерных колодок (разъемов) в схеме

[illegible]	Цвет и расположение колодки
	2-х контактные штекерные колодки
[illegible]	Серого цвета, справа в моторном отсеке
[illegible]	[illegible]
	3-х контактные штекерные колодки
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
	[illegible]
T4	Черного цвета, в середине моторного отсека
T4a	Черного цвета, на приборной панели
[illegible]	Коричневого цвета, силовой выход системы зажигания
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
T6g	[illegible]
[illegible]	[illegible]
	[illegible]
T10	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
T10m	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	Голубого цвета, справа на А-стойке
[illegible]	Голубого цвета, в Е-блоке моторного отсека
[illegible]	[illegible] в Е-блоке моторного отсека
	14-ти, 16-ти, 20-ти контактные штекерные колодки
T14	[illegible]
T16	16-ти контактная диагностическая колодка, в средней консоли
T20	[illegible]
	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]

провод "X" — от разгрузочного реле J59 (+12 В); провод "31" — "масса"). Эти цепи, а также внутренние соединения на плате, показаны тонкими (не цветными) линиями. Кроме условного обозначения самого реле (см. табл. 26.1) указывается номер его позиции на печатной плате монтажного блока. Этот № изображен черным квадратом с просветленной цифрой (например, **1**). Так как реле сгруппированы в монтажные блоки, то на схеме маркируются не только выводы самого реле, но и установочные гнезда на печатной плате. Например, для реле звукового сигнала J4 маркировка клеммы 8/87 обозначает гнездо 8 на плате реле и контакт вывода 87 самого реле. Печатная плата для монтажного блока предохранителей S на схеме обозначена желтым цветом (см. сквозную нумерацию от № 120 до № 169).

Таблица 26.3. Обозначения соединений в жгутах проводов

[illegible]	[illegible]
A2	[illegible]
A3	[illegible]
A5	[illegible] соединение "указатель [illegible] поворота", приборная панель
A6	[illegible], приборная панель
A9	[illegible]
A17	Соединение "[illegible]" – приборная панель
A1?	[illegible]
A2?	[illegible], приборная панель
A?1	[illegible], приборная панель
A26	[illegible] передней левой двери", приборная панель
A27	[illegible], приборная панель
A29	[illegible] фары [illegible] – приборная панель
A3?	[illegible], приборная панель
A34	[illegible], приборная панель
A??	[illegible], приборная панель
A4?	[illegible], приборная панель
A??	[illegible]
A46?	[illegible]
A47	[illegible], приборная панель
A50?	[illegible], приборная панель
A51?	[illegible], приборная панель
A64	[illegible]
A70	[illegible], приборная панель
A72	[illegible]
A74	[illegible], приборная панель
A76	[illegible]
D14	Соединение "катушки зажигания – блок управления", спереди справа
D22	[illegible]
D23	[illegible], спереди справа
D52	[illegible]
W2	[illegible], сзади
W15	[illegible], сзади

Примечание. [illegible]

Таблица 26.4. Обозначение точек соединения с "массой"

[illegible]	[illegible]
11	[illegible]
17	[illegible]
43	На А-стойке, справа внизу
44	На А-стойке, слева, внизу
75	На задней стойке, справа
81	"Масса-1" в жгуте проводов приборной панели
83	"Масса-1" в жгуте проводов спереди справа
84	[illegible] в жгуте проводов спереди справа
86?	[illegible]
87	"Масса-2" в жгуте проводов сзади
106	"Масса" в жгуте проводов противоугонного устройства
124	"Масса" двигателя в жгуте проводов моторного отсека, справа
135	"Масса-2" в жгуте проводов приборной панели
178	"Масса" в жгуте проводов правой фары
179	"Масса" в жгуте проводов левой фары
196	"Масса-3" в жгуте проводов сзади

Примечание. [illegible]

Таблица 26.5. Обозначение цвета проводов

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
1	[illegible]	[illegible]	[illegible]
2	Белый	Б	ws
3	Черный	Ч	sw
4	Коричневый	К	br
5	Фиолетовый	Л	li
6	Синий	Г	bl
7	Зеленый	З	gn
8	Желтый	Ж	ge
9	Серый	С	gr
10	[illegible]	[illegible]	or
11	Розовый	Р	rs

[illegible]

Кроме того, желтым цветом обозначены все выключатели и переключатели. Входные коммутационные устройства и все датчики отмечены голубым цветом, а выходные исполнительные устройства — зеленым. Электрические блоки управления окрашены в розовый цвет и обведены красным контуром.

Приведенная электрическая схема является общей для всех модификаций автомобиля "Audi-A4". Отдельные модификации отличаются типом силовой установки (двигателем и коробкой переключения передач) и имеют некоторые различия в электрической схеме, которые, главным образом, относятся к системе управления агрегатами. Так, 4-х и 5-ти цилиндровые бензиновые двигатели оборудованы системой впрыска "Motronik 3/2", а 6-ти цилиндровые — системой впрыска "MPFI". Незначительные изменения в схеме реализуются путем установки или снятия перемычек, проводов, реле и некоторых других электроэлементов, о чем внизу чертежа схемы указывается в соответствующем примечании. Примечания обозначаются мелкими цифрами в малых кружках красного цвета. Например, примечание 1 указывает на то, что реле J60 и его соединители устанавливаются в схему только тогда, когда автомобиль оборудован автоматической коробкой переключения передач (КПП). Если же на автомобиле установлена механическая КПП, то вместо реле J60 и его соединителей в схему устанавливается токовая перемычка (см. примечание 2 на схеме).

Буквы и цифры в эллипсах черного цвета указывают на принадлежность данного соединения к жгуту проводов (см. табл. 26.3).

В заключение следует отметить, что иллюстрация различных частей схемы электрооборудования с применением цветовых полей и обозначений (как это сделано в данной главе) нормами DIN не предусматривается. Однако в ряде случаев расцветка составных элементов на принципиальной схеме используется для облегчения их поиска и наглядности чертежа. В отечественных иллюстрационных материалах на схемах электрооборудования автомобилей в последнее время стали широко применять цветовое изображение соединительных проводов, которое полностью соответствует их реальной раскраске.

Глава двадцать седьмая

АВТОМАТИЧЕСКАЯ КОРОБКА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧ С ЭЛЕКТРОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

На современных легковых автомобилях высокого потребительского класса автоматическая коробка переключения передач (АКПП) с гидротрансформатором и с гидроприводными фрикционами теперь дополняется двумя новыми функциями — функцией мгновенного переключения от легкого прикосновения к рычагу АКПП (функция "Tiptronic") и функцией адаптивного программного управления процессами переключения (функция "DSP"). Эти функции реализуются с применением средств электронного автоматического управления и придают АКПП совершенно новое свойство — способность адаптироваться под условия движения и под манеру водителя управлять автомобилем.

27.1. Общие сведения

Передача крутящего момента от двигателя внутреннего сгорания (ДВС) к ведущим колесам автомобиля (к движителям) реализуется посредством трансмиссии.

Классическая трансмиссия включает в свой состав сухое дисковое сцепление, механическую коробку переключения передач (КПП), карданный вал и задний ведущий мост. Для согласования энергетических возможностей ДВС с нагрузкой и скоростью движения механическая КПП современного легкового автомобиля имеет шесть ступеней переключения — четыре понижающие скорости, одну повышающую "вперед" и одну понижающую "назад".

Переключение передач с помощью ступенчатого механического редуктора (каковым является КПП) связано с необходимостью разъединения коленчатого вала двигателя и первичного (ведущего) вала КПП. Функцию разъединения валов на время переключения скоростей осуществляет сцепление. Дисковое сцепление и механическая коробка переключения передач управляются водителем, что является главным недостатком классической трансмиссионной передачи (индивидуальное управление не исключает ошибок и неточностей в действиях водителя).

Так, сначала на большегрузных, а затем и на легковых автомобилях стали устанавливать автоматическую коробку переключения передач (АКПП), которая переключает скорости без участия водителя.

27.2. Устройство автоматической коробки передач

Обычно автоматическая КПП для легковых автомобилей состоит из гидротрансформатора, планетарного редуктора со ступенчатым переключением и фрикционных устройств с гидроприводом (тормозные ленты и муфты). Внутри коробки устанавливеется также гидронасос для управляющего давления, которое подается на гидроприводы фрикционов.

Для автоматического переключения скоростей АКПП дооборудована блоком электромагнитных клапанов, который устанавливается под планетарным редуктором и управляется электрическими сигналами от электронного блока управления (ЭБУ-АКП).

Входными сигналами для ЭБУ-АКП, по совокупности которых формируется последовательность манипуляций (переключений) в блоке электромагнитных клапанов, могут являться следующие сигналы:

— частота вращения коленвала ДВС (от ДКВ);

— частота вращения вторичного (выходного) вала АКПП или скорость движения автомобиля (от КД);

— положение дроссельной заслонки и скорость ее перемещения (от ДПД);

— нагрузка ДВС (от ДНД);

— температура ДВС (от ДТД);

— температура масла в АКПП;

— положение рычага АКПП (от МФП);

— положение переключателя программ (если таковой имеется);

— положение переключателя режима "Kickdown" (от ДТТ).

Так как все перечисленные сигналы управления представляют собой неэлектрические воздействия, то они преобразуются в электрические (аналоговые или цифровые) сигналы с помощью указанных датчиков для АКПП.

Если автомобиль оборудован электронными системами управления двигателем (ЭСАУ-Д) и гидравлическими тормозами (ЭСАУ-Т), то часть управляющих сигналов для АКПП берется из этих систем. Например, от системы ABS используются сигналы колесных датчиков (КД), по которым вычисляются средняя скорость движения автомобиля или частота вращения вторичного вала АКПП. От системы управления двигателем к АКПП поступают сигналы о частоте враще-

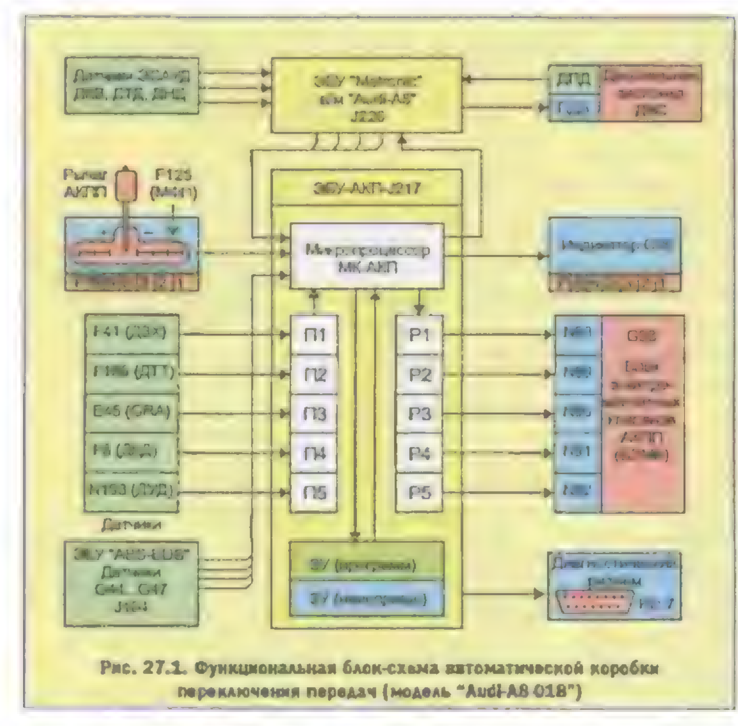


Рис. 27.1. Функциональная блок-схема автоматической коробки переключения передач (модель "Audi-A8 018")

та от двигателя к ведущим колесам при страгивании автомобиля с места и при разгоне. Объясняется это тем, что передаточное число АКПП, пока в ней не заблокирован гидротрансформатор, может изменяться под воздействием перераспределения крутящего момента между тремя рабочими колесами гидротрансформатора. Первое рабочее колесо соединено жестко с коленвалом ДВС и называется насосным. Своими лопатками насосное колесо нагнетает трансмиссионное масло под центробежным давлением (зависящим от частоты вращения ДВС) на лопатки второго (турбинного) колеса, которое приводит во вращение вторичный (выходной) вал АКПП, с которым турбинное колесо связано жестко. Третье рабочее колесо установлено на муфте свободного хода между насосным и турбинным колесами. Это колесо называется реактором. Лопатки реактора принимают поток масла от турбинного колеса и изменяют направление потока таким образом, что он (поток) повторно направляется на лопатки турбинного колеса. Турбина получает дополнительный момент вращения, который суммируется с моментом, полученным турбинным колесом от насосного колеса. Таким образом, суммарный крутящий момент на выходе гидротрансформатора может быть больше, чем на его входе, и определяется частотой вращения турбинного колеса. Если скорость движения автомобиля снижается под воздействием увеличения нагрузки (подъем в гору), то частота вращения турбинного колеса падает, а крутящий момент увеличивается. При увеличении скорости автомобиля (при разгоне на прямом участке дороги) частота вращения турбины увеличивается, что приводит к уменьшению крутящего момента в гидротрансформаторе, следовательно, тяговая сила на ведущих колесах уменьшается. При некоторой частоте вращения вторичного (выходного) вала АКПП реактор начинает проворачиваться относительно муфты свободного хода и гидротрансформатор теряет свойства преобразователя крутящего момента. При этом скорости вращения первичного и вторичного валов АКПП становятся почти одинаковыми.

Диапазон изменения крутящего момента с помощью гидротрансформатора ограничен увеличением в 2,5...3 раза. Этого достаточно для обеспечения нормальной работы АКПП в одном из фиксированных положений переключвтеля скоростей. Но этого

ния и о нагрузке ДВС, а также сигнал о положении и скорости перемещения дроссельной заслонки.

На рис. 27.1 показана функциональная блок-схема автоматической КПП (модель 018) для немецкого автомобиля "Audi-A8", на которой помимо текстовых обозначений и обозначений, указанных в табл. 27.1, имеются следующие: МК-АКП — микропроцессор; П1...П5 — входные преобразователи неэлектрических воздействий от датчиков в электрические сигналы для МК-АКП; Р1...Р5 — выходные токовые реле с "сухими" контактами для включения электромагнитных клапанов АКПП; ЗУ (П) и ЗУ (Н) — запоминающие устройства для хранения программ (П) переключения и кодов неисправностей (Н) — соответственно.

Из рассмотрения блок-схемы АКПП очевидно, что автоматическая коробка переключения передач с электронным управлением является еще одной автотронной системой современного легкового автомобиля.

27.3. Работа автоматической коробки передач

В отличие от обычной механической коробки передач автоматическая КПП с гидротрансформатором не имеет постоянного передаточного числа в любом из положений переключателя скоростей, чем обеспечивается бесступенчатая передача крутящего момен-

недостаточно для устойчивой работы двигателя на всех возможных режимах движения автомобиля. Поэтому автоматическая КПП содержит в своем составе многоступенчатую механическую коробку с переключением скоростей при помощи электромагнитных клапанов. Сами клапаны управляются сигналами от ЭБУ-АКП (см. рис. 27.1).

27.4. Программное управление автоматическим переключателем скоростей

Автоматический переключатель скоростей АКПП — это блок электромагнитных клапанов, расположенных снизу коробки передач под планетарным редуктором. Его главная функция заключается в механическом перемещении шестерен планетарного редуктора в позиции, соответствующие одной из передач АКПП. Современные автоматические коробки легковых автомобилей имеют 3 или 4 передачи переднего хода и одну назад. Этим обеспечиваются стандартные режимы движения автомобиля.

Но динамика движения, а, следовательно, и работа АКПП в значительной степени определяются целью поездки и манерой вождения автомобиля, которые определяются водителем. Например при поездке "за город" на отдых водитель управляет автомобилем неторопливо, спокойно и ставит перед собой главной целью поездки экономию топлива и безопасность движения. Как реализуется такой режим движения при езде на автомобиле с механической КПП? Водитель включает скорости плавно, разгоняет автомобиль медленно и равномерно, на повышенные передачи переключается по указателю спидометра (первая скорость — до 20 км/час, вторя — до 40 км/час, третья — до 60 км/час, четвертая — до 80 км/час, пятая — не более 100 км/час), никого без нужды не обгоняет. Но такую же программу движения можно реализовать и с помощью автоматической коробки передач, если алгоритм управления заранее поместить в постоянную память ЭБУ-АКП. Тогда система "АКПП" будет действовать аналогично водителю: плавно (медленным открытием дроссельной заслонки) увеличиввть скорость движения автомобиля; при достижении скорости 20 км/час произойдет автоматическое переключение с первой передачи на вторую, и так далее. Такой режим движения называется "экономичным" и закладывается в память ЭБУ-АКП как "первый".

Рассмотрим другой случай, когда водителю необходимо срочно приехать в заданное место, а времени "в обрез". Теперь водитель мало думает об осторожности и совершенно забывает об экономии топлива. Передачи включает быстрым толчком рычага, скорость автомобиля на разгоне развивает предельно интенсивно, с целью форсирования двигателя задерживает переключение на повышенную передачу до предельно высоких оборотов ДВС. Такой режим движения называется "спортивным" и тоже может быть легко запрограммирован для системы "АКПП". При составлении программ для АКПП между экономичным и спортивным режимами движения в память ЭБУ-АКП записывают еще три промежуточные стандартные программы для обычных условий движения. В автомобилях среднего потребительского класса пять стандартных программ могут выбираться водителем с помощью специального переключателя программ, и тогда АКПП выполняет свои функции строго в рамках выбранного режима. Водитель в любое время может перевести АКПП из автоматического управления в режим активного индивидуального управления. Для этого достаточно воспользоваться рычагом переключения передач, но режим "DSP" (автоматического переключения программ) не реализуется.

На автомобилях высокого потребительского класса переключатель программ не устанавливается, а программы переключаются автоматически. Для этой цели рычаг АКПП имеет не одну, а две дорожки для перемещения.

На первой (основной) дорожке обеспечивается фиксация рычага в семи стандартных позициях: 1, 2, 3, D, N, R, P. На этой дорожке исполняется и дополнительная функция DSP. На вторую (дополнительную) дорожку рычаг может быть переведен только с позиции "D" на основной дорожке. Для этого рычаг наклоняется вправо и фиксируется. На дополнительной дорожке рычаг может перемещаться вперед и назад без фиксации в этих положениях. Переводом рычага на дополнительную дорожку включается режим "Tiptronic". В этом режиме легкое проталкивание рычага управления вперед приводит к мгновенному переключению АКПП на следующую повышенную передачу.

Действием в обратном направлении (назад) АКПП переключается на пониженную передачу. В режиме "Tiptronic" переключение передач выполняется без изменения тяговой силы, приложенной к колесам.

При форсированном ускорении автомобиля в режиме "Tiptronic" переключение АКПП на более высокую передачу может осуществляться только вручную, следующим толчком рычага вперед. Но обратное переключение скоростей (на понижение) при замедлении происходит автоматически.

Для переключения системы "АКПП" с одной программы управления на другую без участия водителя дополнительно используются сигналы о положении и скорости перемещения дроссельной заслонки (от датчика положения дросселя ДПД в системе ЭСАУ-Д), а также сигналы об ускорении автомобиля и о разнице частот вращения между колесами переднего и заднего мостов (от датчиков системы ЭСАУ-Т).

Таким образом, по совокупности этих сигналов и сигналов о частоте вращения коленвала ДВС и вторичного вала АКПП микропроцессор (МК) в ЭБУ-АКП определяет текущую динамическую ситуацию движения, анализирует манеру езды и намерения водителя и по результатам обработки информации выбирает соответствующую программу управления для АКПП.

Для автомобилей высокого потребительского класса составляется пакет из десяти (SP1...SP10) рабочих динамических программ, первые пять из которых (SP1...SP5) стандартные (от экономичной SP1 до спортивной SP5) и еще пять специальных. SP6 — программа для фазы прогрева ДВС, АКПП и катализатора. Программа SP7 является программой переключения АКПП в режиме "Tiptronic". Программы SP8, SP9, SP10 ориентированы на работу АКПП при движении автомобиля в горной местности. Так, программа SP8 предотвращает переключение на более высокую передачу, если автомобиль движется под уклон. Если при этом вводится в действие тормоз, то программа SP9 осуществляет переключение АКПП на более низкую передачу и реализует дополнительное торможение двигателем. При движении на подъем программа SP10 выбирает оптимальную скорость движения на пониженной передаче, и этим предотвращает частое переключение скоростей.

Автоматический выбор программ позволяет реализовать быстрое, качественное, корректное, высокоточное, а, следовательно, и высоконадежное переключение скоростей при различных условиях движения автомобиля.

27.5. Принципиальная электрическая схема системы "АКПП"

На рис. 27.2 показана принципиальная электрическая схема системы "Автоматическая коробка переключения передач" (АКПП) для автомобиля "Audi-A8" (модель 018). Схема составлена по нормам DIN (ФРГ). Схему дополняет таблица 27.1, в которой приведена спецификация компонентов.

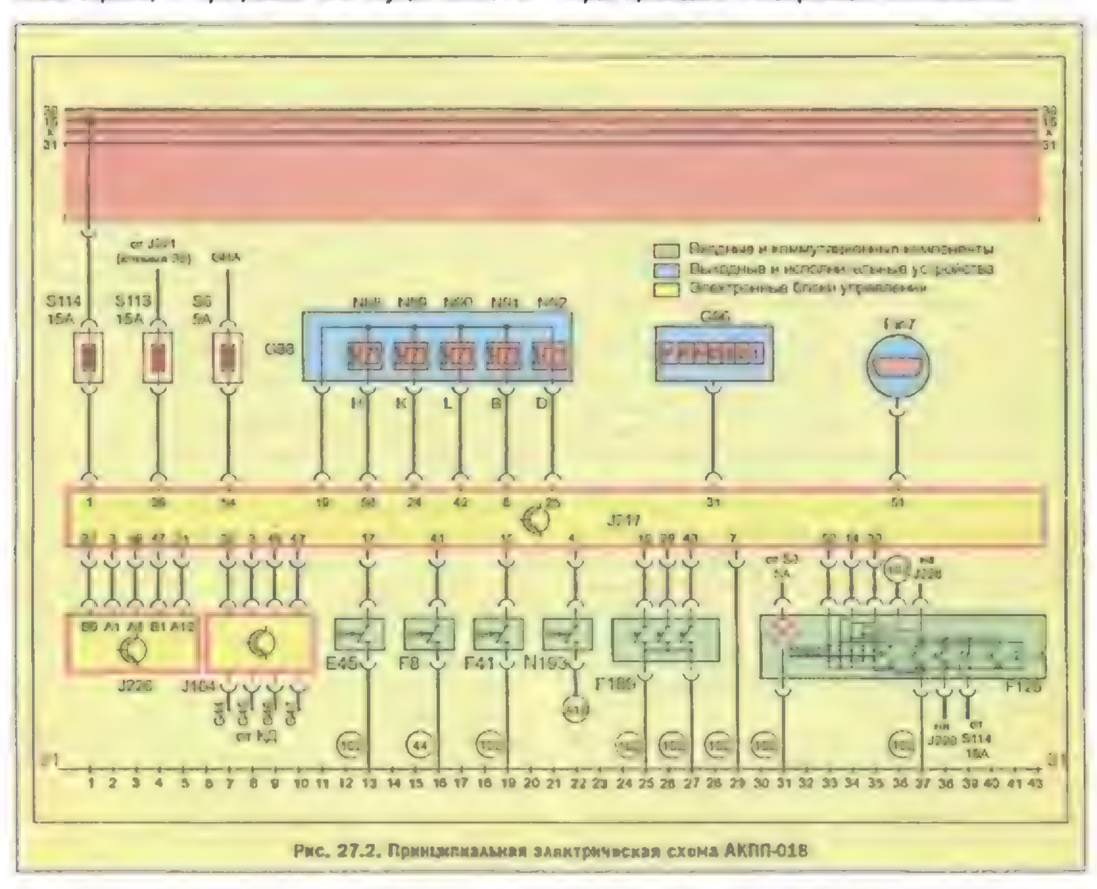


Рис. 27.2. Принципиальная электрическая схема АКПП-018

Таблица 27.1

[illegible]	[illegible]	[illegible]
F	[illegible]	13
F	[illegible]	15
F41	[illegible]	18
F125	[illegible]	31-43
F	[illegible]	[illegible]
G38	[illegible]	11-21
G44	Датчик частоты вращения [illegible] колеса	7
G45	Датчик частоты вращения [illegible] колеса	8
G46	Датчик частоты вращения [illegible] колеса	9
G47	Датчик частоты вращения [illegible] колеса	10
G96	[illegible]	[illegible]
J104	Блок управления для ABS с EDS	7-10
J217	[illegible]	1-43
J220	Блок управления "Motronic"	1-5
[illegible]	[illegible] "Motronic"	4
[illegible]	[illegible]	[illegible]
N88	Электромагнитный клапан 1	[illegible]
N89	Электромагнитный клапан 2	15
[illegible]	Электромагнитный клапан 3 [illegible]	17
N91	Электромагнитный клапан 4 [illegible]	[illegible]
[illegible]	Электромагнитный клапан 5 [illegible]	21
N110	[illegible]	22
[illegible]	[illegible]	7
S113	[illegible]	4
S114	[illegible]	1
44	[illegible]	16
[illegible]	[illegible]	[illegible]

Принципиальная электрическая схема работает следующим образом:

1. Если многофункциональный переключатель F125 находится в положении "P-parking" или "N-neitral", то возможен запуск двигателя стартером. Во всех остальных положениях стартер блокируется и запуск ДВС невозможен.

2. После прогрева ДВС и АКПП движение автомобиля "вперед" можно начинать, поставив рычаг либо в положение "1", либо в положение "D", а при движении "назад" — в положение "R".

3. Если рычаг установлен в положении "2" или "3", то АКПП работает с переключением скоростей только до установленного предела и обратно.

4. Все переключения скоростей реализуются с помощью блока электромагнитных клапанов G38, который одновременно является цифровым (кодовым) датчиком частоты вращения вторичного вала АКПП. Блок G38 управляется электрическими сигналами от ЭБУ-АКП (J217).

5. Используются сигналы от ЭБУ-"ABS-EDS" (J104) о частоте вращения колес (датчики G44...G47).

6. Блок ЭБУ (J217) и ЭБУ "Motronic" (J220) постоянно обмениваются информацией, тем самым реализуется своевременное и качественное (корректное) переключение передач в АКПП и управление крутящим моментом двигателя посредством привода дроссельной заслонки (ПДЗ).

7. В режиме "Tiptronic" АКПП работает по программе SP7 и обеспечиввет мгновенное переключение скоростей без прерывания тяговой силы.

8. Положение рычага АКПП индицируется на световом табло G96 и на указателе, расположенном вдоль основной дорожки рычага.

9. Переключатель программ и указатель выбранной рабочей программы в системе "АКПП-018" не применяются.

10. Для проведения диагностики неисправностей АКПП в условиях станции технического обслуживания (СТО) предусмотрен диагностический разъем Pin7. Диагностированию подлежат все входные устройства и датчики, а также все электромагнитные клапаны.

В заключение следует отметить, что АКПП проигрывает обычной механической коробке переключения передач по коэффициенту полезного действия (КПД), так как имеют место значительные потери в гидротрансформаторе.

Но за счет точного (своевременного) и качественного (корректного) переключения скоростей АКПП обеспечивает экономию топлива и работает на автомобиле значительно дольше механической КПП.

Кроме того, двигатель и трансмиссия с автоматической коробкой защищены от случайных перегрузок при ошибочных действиях водителя во-время переключения передач. Но основное преимущество АКПП состоит в том, что она обеспечивает высокую комфортность и простоту управления автомобилем.

РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ В АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ*

При изучении электрического, электронного и автотронного оборудования автомобиля необходимо иметь ясное представление об общих принципах работы и о конструкциях автомобильных устройств, которыми управляет электронная автоматика. Наиболее важным неэлектрическим агрегатом автомобиля является двигатель внутреннего сгорания (ДВС). Именно двигатель является тем главным объектом автоматического управления на автомобиле, на который работает большая часть современной электронной бортовой автоматики. Теперь на ДВС устанавливаются: система впрыска топлива, адаптивная цифровая система зажигания с микропроцессором, система нейтрализации отработавших газов, система утилизации паров бензина, система самодиагностики и электронного резервирования. В ближайшее время начнут широко применяться системы электронного управления механизмом газораспределения. Данная глава посвящена краткому рассмотрению рабочих процессов в тех частях бензинового поршневого ДВС, с которыми связана работа автотронного оборудования.

П.1. Краткие сведения об автомобильном двигателе

Двигатели современных легковых автомобилей относятся к поршневым двигателям внутреннего сгорания. В таких двигателях все рабочие процессы превращения химической энергии топлива в механическую энергию вращения вала происходят непосредственно внутри двигателя за счет возвратно-поступательного движения поршня в цилиндре. За поршневым двигателем внутреннего сгорания традиционно закреплена аббревиатура ДВС.

В поршневом двигателе внутреннего сгорания, который предназначен для установки на легковом автомобиле, число цилиндров обычно четное (2, 4, 6, 8, 12). Но известны конструкции трех- и пятицилиндровых ДВС. Их применение в последние годы сокращается из-за невозможности оснащения современными цифровыми системами зажигания с двухвыводными катушками. Есть и другие причины.

В многоцилиндровом ДВС коленчатый вал суммирует усилия от всех цилиндров. При этом цилиндры работают на коленвал поочередно. Но в любом многоцилиндровом двигателе в каждом его цилиндре в отдельности имеют место одни и те же рабочие процессы, которые удобнее и проще рассматривать на примере одноцилиндрового двигателя.

Схематически устройство одноцилиндрового ДВС показано на рис. П.1.

▫ К основным конструктивным параметрам поршневого двигателя относятся:

1. Верхняя (иногда говорят — внутренняя) мертвая точка — ВМТ. Это крайнее положение поршня в цилиндре, при котором поршень максимально приближен шатуном и кривошипом к крышке цилиндра.

2. Нижняя (наружная) мертвая точка — НМТ. Это крайнее положение поршня, когда он максимально удален от крышки цилиндра (в мертвых точках шатун и кривошип находятся на одной прямой линии).

3. Диаметр поршня D (измеряется и задается в мм).

4. Камера сгорания (на рис. П.1, поз. 12). Это полость внутри цилиндра между крышкой цилиндра и днищем пор-

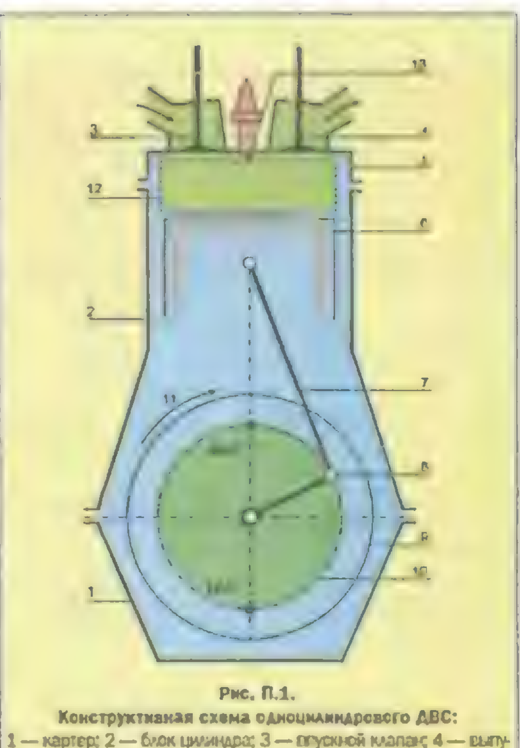


Рис. П.1.
Конструктивная схема одноцилиндрового ДВС:
1 — картер; 2 — блок цилиндра; 3 — впускной клапан; 4 — выпускной клапан; 5 — головка (крышка) цилиндра; 6 — поршень; 7 — шатун; 8 — кривошип коленчатого вала; 9 — маховик коленчатого вала; 10 — коленчатый вал; 11 — направление вращения коленчатого вала; 12 — камера сгорания; 13 — свеча зажигания.

* *При написании главы использованы [17, 18, 21].*

шня, когда поршень находится в ВМТ. Объем камеры сгорания $V_c = 0{,}25\ \pi D^2 h$, где h — высота камеры сгорания.

5. Полный объем цилиндра V_a. Это объем между крышкой цилиндра и днищем поршня, когда поршень находится в НМТ.

6. Ход поршня L. Это перемещение поршня в цилиндре из одной мертвой точки в другую (численно равен расстоянию между ВМТ и НМТ).

7. Рабочий объем V_h цилиндра. Это объем, который проходит поршень при движении между мертвыми точками. Измеряется в $см^3$ или в литрах и численно равен разности между полным объемом цилиндра V_a и объемом камеры сгорания V_c: $V_h = V_a - V_c = 0{,}25\ \pi D^2 L$. По рабочему объему V_h цилиндра в литрах определяют литраж V_A многоцилиндрового двигателя: $V_A = N\ V_h$, где N — число цилиндров ДВС.

8. Степень сжатия ε_a. Это отношение полного объема цилиндра к объему камеры сгорания:

$\varepsilon_a = V_a/V_c = 1 + V_h/V_c = 1 + L/h$.

9. Коэффициент наполнения η_v цилиндра свежим зарядом. Это отношение количества q_u впущенной в цилиндр топливовоздушной смеси (ТВ-смесь) к тому ее количеству q_k, которое могло бы заполнить рабочий объем цилиндра при температуре T_k и давлении P_k ТВ-смеси во впускном коллекторе:

$\eta_v = q_u/q_k = (\rho_u\ V_h)/(\rho_k\ V_h) = \rho_u/\rho_k$,

где ρ_u и ρ_k — плотность ТВ-смеси в цилиндре и во впускном коллекторе (соответственно).

В двигателях без наддува коэффициент наполнения цилиндра всегда меньше единицы ($\eta_v < 1$), так как ρ_k всегда больше ρ_u ($\rho_k > \rho_u$) из-за неполной эвакуации отработавших газов из цилиндра, из-за аэродинамического сопротивления клапанных щелей газообменным потокам, а также по причине дозирования дроссельной заслонкой того количества воздуха, которое впускается в цилиндр при всасывании.

Двигатель внутреннего сгорания, как и любой другой тепловой двигатель, вырабатывает механическую энергию вращения вала из потенциальной химической энергии топлива. Отличительной особенностью поршневого двигателя является то, что топливо в нем сжигается не беспрерывно, а отдельными порциями.

Одноразовая (цикловая) порция топлива (на один акт сгорания в цилиндре) в смеси с соответствующим количеством воздуха, перемешанная с остаточными газами в цилиндре, называется топливовоздушным зарядом (ТВ-заряд).

При сжигании ТВ-заряда в двигателе происходит ряд энергетических преобразований, которые принято называть рабочими процессами. Рабочие процессы протекают один за другим в строгой последовательности, которая периодически повторяется от одного сгорания заряда к другому. Периодически повторяющаяся последовательность рабочих процессов, приходящаяся на один акт сгорания топлива в цилиндре, называется рабочим циклом одноцилиндрового двигателя.*

Рабочему циклу соответствует целое число ходов поршня в цилиндре, а значит, и число полных оборотов коленчатого вала двигателя. Рабочий цикл двигателя можно разложить на один, на два и даже на три полных оборота коленчатого вала (соответственно — на два, четыре, шесть ходов поршня). При этом каждый ход поршня можно считать рабочим тактом (коленчатый вал вращается в такт с ходами поршня). Тогда по способу реализации рабочего цикла поршневые двигатели можно классифицировать как двухтактные (с однооборотным или двухтактным циклом), четырехтактные (с двухоборотным или четырехтактным циклом), шеститактные (с трехоборотным или шеститактным циклом).

В некоторых случаях под термином "рабочий такт" подразумевают совокупность рабочих процессов, приходящихся на один полный ход поршня. Такая интерпретация "рабочего такта" ничем не отличается от определения "рабочего цикла", и тогда "такт" есть всего лишь часть цикла, которая никак не определена границами рабочих процессов. Это особенно неудобно при рассмотрении двухтактных циклов, где один и тот же рабочий процесс (например, выпуск) присутствует в обоих тактах. Такт как один полный ход поршня — это фиксированная относительно мертвых точек половина оборота коленчатого вала. Наибольшее распространение получили двух- и четырехтактные двигатели.

** В многоцилиндровом двигателе "рабочим циклом" называют ряд последовательных процессов, периодически повторяющихся в каждом цилиндре двигателя во время его работы.*

П.2. Двухтактный двигатель

С двухтактным циклом работают в основном дизельные ДВС и бензиновые ДВС малой мощности. Особенностью двухтактного двигателя является отсутствие в нем отдельных тактов для насосных процессов выпуска отработавших газов и впуска свежей порции ТВ-заряда. Эти процессы частями входят в два главных рабочих такта — в такт "расширения" и в такт "сжатия". При этом жесткой границы между рабочими процессами нет.

На рис. П.2 приведены схема газообмена и круговая диаграмма фаз газораспределения, поясняющие работу двухтактного двигателя.

Двухтактный рабочий цикл начинается с расширения от ВМТ. Это соответствует рабочему ходу поршня. Через 120° поворота коленвала (КВ) открывается выпускной клапан 1 и начинается процесс выпуска отработавших газов (точка Y) под остаточным давлением ($P_{ост} = 4$ атм). Примерно еще через 10° поворота в точке Y' поршень открывает впускные (продувочные) окна 4 и через них от продувочного насоса в цилиндр начинает поступать свежий воздух (в дизеле) или ТВ-смесь (в бензиновом ДВС). Давление продувки чуть выше $P_{ост}$. После НМТ поршень пойдет вверх, но до точки X' продувочный насос будет продолжать вытеснять отработавшие газы и наполнять цилиндр свежим зарядом (50° поворота коленвала от НМТ). В точке X' поршень перекроет продувные окна и до точки X будет работать на принудительное вытеснение отработавших газов через открытый выпускной клапан 1 (10° поворота КВ). В точке X распределительный привод закроет выпускной клапан, и с этого момента в цилиндре начинается рабочий процесс "сжатие". В точке Z произойдет воспламенение ТВ-заряда (в дизеле от сжатия, в бензиновом ДВС от свечи зажигания), горение будет продолжаться некоторое время (7°...10° поворота КВ) и за ВМТ. Момент воспламенения в бензиновом ДВС задается системой электроискрового зажигания, а в дизельном — моментом впрыска топлива (зона Z на рис. П.2, б). Когда поршень вновь перейдет через ВМТ, давление газов в цилиндре достигнет максимального значения ($P_a = 50...60$ атм), и снова начнется рабочий ход.

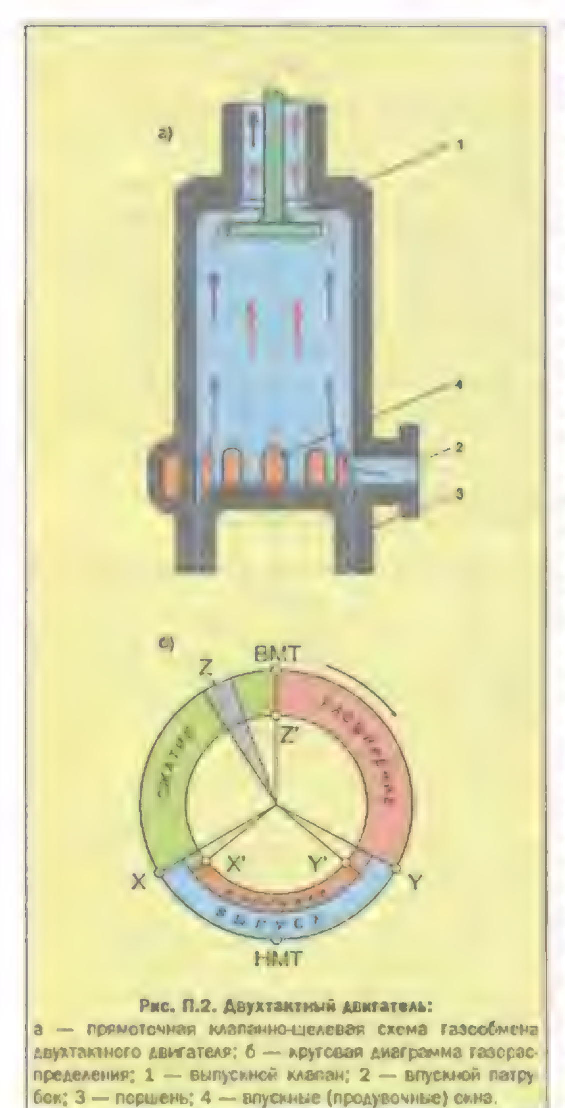


Рис. П.2. Двухтактный двигатель:
а — прямоточная клапанно-щелевая схема газообмена двухтактного двигателя; б — круговая диаграмма газораспределения; 1 — выпускной клапан; 2 — впускной патрубок; 3 — поршень; 4 — впускные (продувочные) окна.

П.3. Четырехтактный двигатель

В цилиндре четырехтактного поршневого двигателя циклическая последовательность энергетических преобразований начинается с реакции горения ТВ-заряда, когда поршень находится в ВМТ. В результате сгорания химическая энергия топлива переходит в тепловую энергию сильно сжатых газов. Так в камере сгорания образуется газообразное рабочее тело теплового двигателя. Далее тепловая энергия рабочего тела за счет его интенсивного расширения переходит в механическую работу по перемещению поршня из ВМТ в НМТ. Следующим этапом преобразований является кинематическое превращение линейного перемещения поршня в возвратно-поступательное его движение и получение вращательного движения на выходном валу двигателя. Это преобразование реализуется с помощью кривошипно-шатунного механизма, коленчатого вала и его маховика. При этом сам коленчатый вал и навешенные на него детали (массы) получают значительный импульс движения, за счет которого совершается полезная работа двигателя, а поршень переходит через НМТ и начинает обратное движение к ВМТ. Эта часть энергетического цикла соответствует рабочему такту двигателя "рабочий ход" и заканчивается в НМТ. С этого момента (от нижней мертвой точки) на полезную нагрузку одноцилиндрового двигателя и на последующие вспомогательные процессы энергетических преобразований начинает работать кинетическая энергия инерционных масс коленчатого вала, ранее разогнанных рабочим ходом поршня. Вслед за процессом "рабочий ход" в любом поршневом двигателе должны быть выполнены два насосных процесса: выпуск отработавших газов и впуск свежего топливовоздушного заряда. В четырехтактном одноцилиндровом двигателе такты выпуска, впуска и сжатия реализуются инерционным вращением коленвала с массивным маховиком (тремя ходами поршня между НМТ и ВМТ). В многоцилиндровом двигателе поршни поочередно работают на один общий коленвал, и процессы выпуска, впуска и сжатия в цилиндре реализуются не только инерционным вращением коленвала, но и рабочими ходами поршней в других цилиндрах. На выполнение насосных процессов затрачивается часть энергии рабочего хода. Чем продолжительнее насосные процессы в общей продолжительности рабочего цикла, тем ниже КПД двигателя. Именно поэтому двухтактные двигатели эффективнее четырехтактных, а четырехтактные — эффективнее шеститактных.

После завершения насосных процессов, сразу вслед за впуском, в цилиндре четырехтактного двигателя начинается энергетический процесс сжатия. Этот процесс реализуется четвертым (последним) в данном цикле ходом поршня (вверх).

Рассмотрев последовательность основных процессов энергетического преобразования и сопутствующие им вспомогательные процессы в четырехтактном двигателе, можно перейти к рассмотрению рабочих тактов в четырехтактном цикле.

Четырехтактным циклом называется последовательность из четырех рабочих тактов двигателя: впуск, сжатие, рабочий ход, выпуск. За начало цикла обычно принимают такт впуска.

Следует предварительно заметить, что хотя по определению рабочий такт включает в себя несколько рабочих процессов, приходящихся на один ход поршня, в четырехтактном двигателе каждому такту присваивается наименование только одного (основного) рабочего процесса. Например, рабочий такт "сжатие" (ход поршня из НМТ в ВМТ после впуска) включает в себя не только само сжатие, но и внутреннее перемешивание ТВ-смеси, формирование ТВ-заряда, воспламенение ТВ-заряда перед его сгоранием, начало формирования газообразного рабочего тела. Но называется данный такт — тактом сжатия.

То же самое можно показать на примерах других тактов. Но главное здесь то, что довольно продолжительная последовательность различных процессов, имеющих место в каждом такте, в целях упрощения "раскладывается" только на четыре рабочих такта. Эти такты: ВПУСК, СЖАТИЕ, РАБОЧИЙ

ход, выпуск. Таким образом, для четырехтактного двигателя рабочим циклом можно считать не совокупность рабочих процессов, приходящихся на один акт сгорания ТВ-заряда, а последовательность четырех конкретных рабочих тактов.

○ Рассмотрение четырехтактного цикла удобнее проводить с помощью индикаторной диаграммы, которая отображает изменение давления в цилиндре по ходу поршня за рабочий цикл (рис. П.3.).

Индикаторная диаграмма состоит из четырех характерных участков:

1. Участок (71) — впуск ТВ-смеси под разрежением от всасывания (P ≅ 0,8 атм). Температура ТВ-смеси в конце впуска T_1 ≅ 100°С. Имеет место вентиляционное охлаждение цилиндра.

2. Участок (123) — сжатие. При степени сжатия ε_a = 10 (для бензинового ДВС) давление в конце сжатия P_c ≅ 15 атм, температура T_c ≅ 500°С.

3. Участок (3456) — сгорание ТВ-заряда и расширение (рабочий ход). Воспламенение ТВ-заряда в точке 2. Окончание процесса сгорания ТВ-заряда в точке 3. Давление газов P_4 = 40 атм, температура T_4 ≅ 2800°С. К концу расширения (точка 5) давление P_5 = 4 атм, T_5 ≅ 1000°С. В точке 6 давление P_6 ≅ 1,3 атм (остаточное давление газов), T_6 ≅ 800°С.

4. Участок (67) — выпуск отработавших газов. Выпускной клапан открывается в точке 5. Процесс выпуска протекает при давлении, которое превышает атмосферное. К концу выпуска температура падает до T_7 = 700°С, и далее при впуске — до T_1 = 100°С.

На рис. П.4. приведены отдельные участки индикаторной диаграммы с их разнесением по четырем рабочим тактам. Здесь же показаны схемы текущего положения поршня в четырехтактном двигателе.

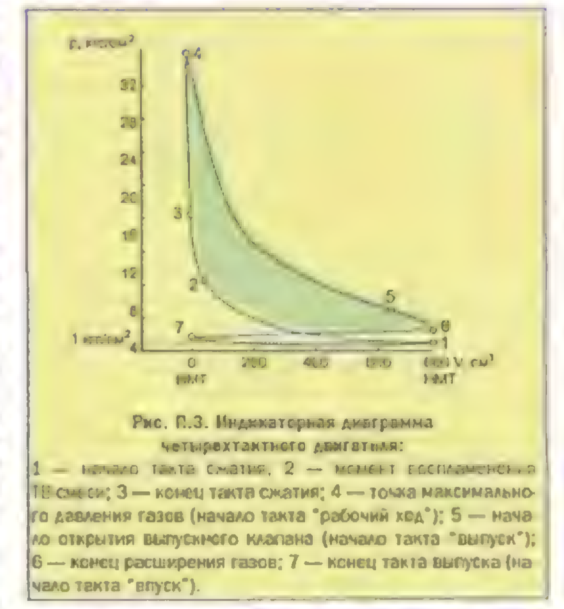


Рис. П.3. Индикаторная диаграмма четырехтактного двигателя:
1 — начало такта сжатия, 2 — момент воспламенения ТВ-смеси; 3 — конец такта сжатия; 4 — точка максимального давления газов (начало такта "рабочий ход"); 5 — начало открытия выпускного клапана (начало такта "выпуск"); 6 — конец расширения газов; 7 — конец такта выпуска (начало такта "впуск").

Топливо и необходимый для его сгорания воздух, (в виде топливовоздушной смеси), вводятся из впускного кол-

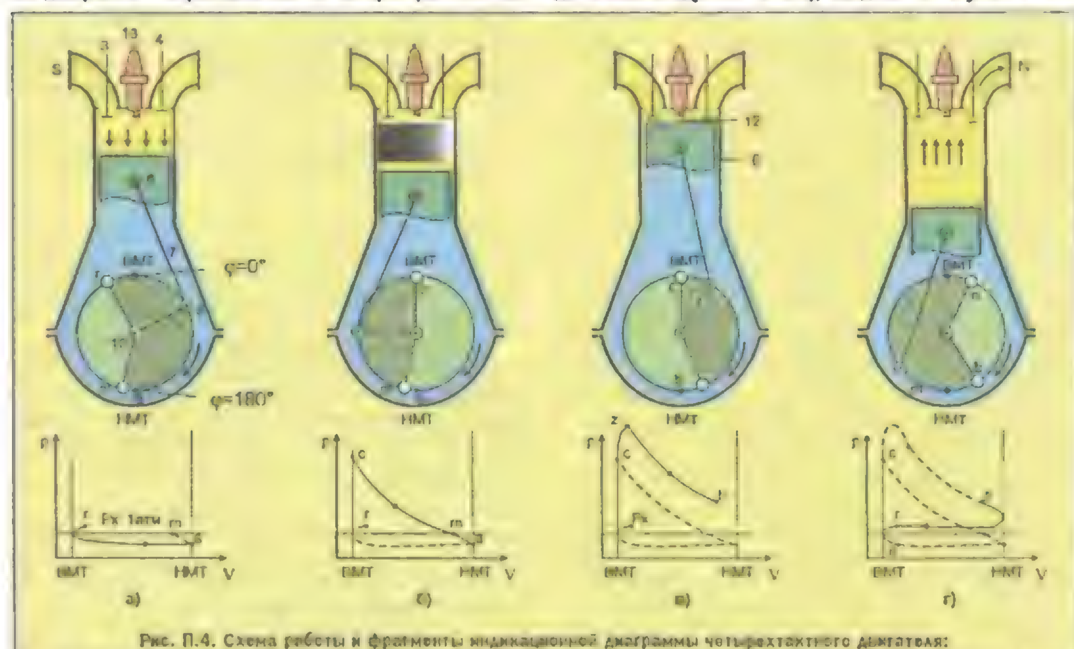


Рис. П.4. Схема работы и фрагменты индикационной диаграммы четырехтактного двигателя:
а — такт "впуск"; б — такт "сжатие"; в — такт "рабочий ход"; г — такт "выпуск"; р — текущее значение давления в цилиндре; V — изменение объема цилиндра по ходу движения поршня между мертвыми точками. $P_к$ — давление во впускном коллекторе ($P_к$ ≅ 1 атм).

лектора S через открытый впускной клапан 3 в объем цилиндра двигателя. Начинается рабочий процесс всасывания горючей смеси за счет движения поршня вниз (рис. П.4,а). Это первый рабочий такт четырехтактного двигателя — **такт впуска**. Ему соответствует линия ra на индикаторной диаграмме **а**. Количество введенной при впуске горючей смеси определяется ходом поршня (линейным перемещением из ВМТ в НМТ) и диаметром поршня, то есть рабочим объемом цилиндра, а также давлением P_k во впускном коллекторе.

Как только шатун 7, закрепленный скользящим подшипником на кривошипе 8, перейдет через НМТ, поршень 6 начнет подниматься вверх. С этого момента начинается второй рабочий такт четырехтактного ДВС, который называется **тактом сжатия** (линия ac на индикаторной диаграмме б). За время такта сжатия топливовоздушная смесь сильно (до объема камеры сгорания 12) сжимается поршнем и перемешивается с остаточными газами, тем самым превращается в топливовоздушный заряд. Ясно, что в такте сжатия и впускной клапан 3, и выпускной клапан 4 закрыты.

Управление клапанами в поршневых двигателях осуществляется от специального вала, который называется распределительным. **Распределительный вал** механически жестко сочленен с **коленчатым валом** через цепную, шестеренчатую или зубчатую ременную передачу. В двигателях с четырехтактным рабочим циклом передаточное отношение такой передачи равно один к двум. То есть за два оборота коленчатого вала распределительный вал делает один оборот. (На чертежах рис. П.1 и рис. П.4 распределительный вал не показан.)

Третьим рабочим тактом поршневого двигателя является такт **рабочий ход** (на рис. П.4 линия czb, на индикаторной диаграмме в). Он начинается сразу после того, как поршень 6 начнет перемещаться из верхней мертвой точки снова вниз. Такт "рабочий ход" наиболее важный в работе двигателя. Именно в этом такте происходит главное энергетическое преобразование ДВС — превращение тепловой энергии сгоревшего топливовоздушного заряда в механическую работу.

В бензиновых поршневых ДВС этот такт происходит следующим образом. В зоне, близкой к ВМТ, еще в такте сжатия (точка **С** в позиции **в** на рис. П.4) топливовоздушный заряд принудительно воспламеняется от электрической искры в свече 13 зажигания. Топливовоздушный заряд быстро сгорает, и к началу такта **рабочий ход** давление в образовавшихся газах достигает максимального значения (точка **Z**). Газы, образовавшиеся в результате сгорания топливовоздушного заряда, с этого момента выполняют роль сильно разогретого **рабочего тела**, сжатого в объеме камеры сгорания. Как только поршень за ВМТ начинает перемещаться вниз, рабочее тело, интенсивно расширяясь, высвобождает приобретенную тепловую энергию, которая превращается в механическую работу в виде движения поршня вниз под действием расширения газов.

Последний (четвертый) рабочий такт поршневого двигателя называется **тактом выпуска**, так как в нем осуществляется эвакуация из объема цилиндра отработавших газов. На рис. П.4 такту выпуска соответствует линия **br** индикаторной диаграммы **г**. Выпуск происходит сначала за счет остаточного давления, затем путем принудительного вытеснения отработавших газов поршнем в выпускной коллектор **N** через открывшийся к этому такту выпускной клапан 4.

Важно понимать, что из всех четырех тактов четырехтактного двигателя только такт "рабочий ход" полезно работает на нагрузку ДВС, так как только в нем коленчатый вал 10 получает от поршня 6 через шатун 7 и кривошип 8 разгонное механическое усилие. Во всех остальных рабочих тактах двигатель не вырабатывает, а потребляет часть механической энергии от коленчатого вала.

Описанные четыре рабочих такта во время работы ДВС чередуются друг за другом и образуют полный **четырехтактный рабочий цикл** двигателя.

Следует иметь в виду, что строгого соответствия между рабочими тактами (ходами поршня) и тактовыми рабочими процессами в четырехтактных (так же, как и в двухтактных) поршневых двигателях нет. Это объясняется тем, что при работе двигателя фазы клапанного газораспределения и фазовые состояния клапанов накладываются на рабочие ходы поршня в разных конструкциях двигателей по-разному.

Работа многоцилиндровых ДВС происходит по цилиндрам последовательно, в каждом из которых рабочие процессы протекают так же, как и в вышеописанном одноцилиндровом двигателе. Все цилиндры в многоцилиндровом ДВС работают на один **коленчатый вал**, который воспринимает рабочие усилия от разных цилиндров через заданный числом цилиндров угол поворота.

Чередование срабатываний цилиндров в многоцилиндровых двигателях носит наименование — порядок работы.

Порядок работы ДВС задается конструктивно соответствующим исполнением распределительного и коленчатого валов и не может быть изменен в процессе эксплуатации.

Реализуется порядок работы ДВС чередованием искр зажигания, поступающих на свечи цилиндров от системы зажигания. К примеру, порядок работы четырехцилиндровых двигателей может быть либо 1342, либо 1243.

П.4. Газораспределение в четырехтактном поршневом двигателе

Неотъемлемой составной частью рабочего цикла в любом поршневом двигателе внутреннего сгорания (ДВС) является процесс газообмена в цилиндрах. Этот процесс в каждом цилиндре в отдельности реализуется впуском свежего заряда и выпуском отработавших газов.

● Устройство, которое осуществляет газообмен в четырехтактном поршневом двигателе, называется механизмом газораспределения. Конструктивное исполнение газораспределительных механизмов исключительно многообразно [18]. Рассмотрим наиболее распространенный верхнеклапанный механизм газораспредвления с верхним расположением распределительного вала. Основными составными частями такого механизма являются: верхние впускные и выпускные клапаны, которые устанавливаются в крышке каждого цилиндра; кулачковый распределительный вал, расположенный сверху над клапанами; а также устройство передачи вращательного движения от коленчатого вала двигателя к распределительному валу (рис. П.5.)

Любой газораспределительный механизм работает таким образом, что очередность газообмена в каждом цилиндре соответствует порядку работы двигателя. Это обеспечивается строго определенным расположением кулачков по

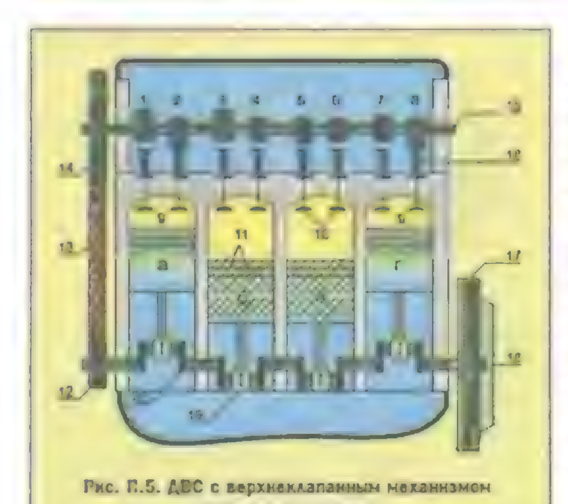


Рис. П.5. ДВС с верхнеклапанным механизмом газораспределения:
1, 3, 6, 8 — кулачки выпускных клапанов; 2, 4, 5, 7 — кулачки впускных клапанов; 9 — камера сгорания; 10 — клапан; 11 — поршневые кольца; 12 — шестерня на КВ; 13 — ременная зубчатая передача; 14 — шестерня на распредвалу; 15 — распределительный вал; 16 — клапанная пружина; 17 — маховик двигателя; 18 — корзина сцепления; 19 — шатун; 20 — коленчатый вал; а, б, в, г — поршни.

углу их разворота относительно друг друга на распредвале и самого распредвала относительно коленчатого.

Каждый клапан открывается один раз за полный рабочий цикл (за два оборота КВ в четырехтактном двигателе). Спецификой работы клапана с приводом от кулачкового распределительного вала является его плавный ход от закрытого до полностью открытого состояния и обратно (рис. П.6).

Плавностью хода клапанов (без провалов и без ударов) обеспечивается бесшумность работы механизма газораспределения, но не только. Если клапан к тому времени, когда поршень подходит к ВМТ, оставить в полностью открытом состоянии, то при малой высоте камеры сгорания обязательно произойдет соударение клапана и поршня. Чтобы этого не происходило, клапан заблаговременно плавно опускается клапанной пружиной по нисходящему профилю кулачка обратно к седлу клапана (при закрытии), и плавно поднимается вверх (при открытии).

Для этого профиль кулачка распредвала имеет яйцевидную форму (рис. П.6, а).

В теории автомобильного двигателя [21] профили кулачков распредвала подразделяют на гармонические (очерченные сопряжением четырех окружностей различных радиусов) и на тангенциальные (очерченные сопряжением двух окружностей и двух прямых линий). Открытие клапанов обеспечивается нажимным усилием от восходящего профиля кулачков распредвала, а закрытие — возвратными действиями клапанных пружин (рис. П.6).

В газораспределительном механизме классического ДВС все его движущиеся составные части находятся в строго постоянной кинематической связи. Это обеспечивает постоянное и неизменяющееся соотношение фаз газораспределения и фазовых состояний клапанов во время работы двигателя.

● О фазах газораспределения и о фазовых состояниях клапанов в четырехтактном поршневом ДВС надо сказать отдельно. Есть два строгих определения термина "фаза". По первому, фаза — это момент появления события в циклическом процессе, зафиксированный в ходе развития процесса каким-либо способом. По второму определению фаза — это продолжительность части циклического процесса между двумя характерными событиями, которые являются границами для данной части процесса.

Циклические процессы проще всего представлять с помощью круговых диаграмм, в которых процессы отобража-

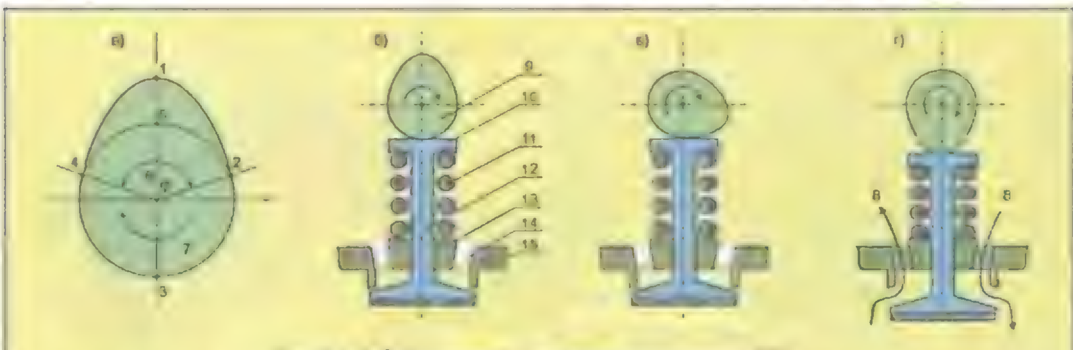


Рис. П.6. Работа клапана с кулачковым распредвалом (РВ):
а — профильные элементы кулачка РВ; б — положение кулачка РВ относительно клапана в состоянии "закрыто"; в — положение кулачка РВ относительно клапана в начале его открытия; г — положение кулачка РВ относительно клапана в состоянии "открыто"; 1 2 3 4 — рабочий профиль кулачка; 2 3 4 5 — базовая окружность кулачка; 1 2 5 4 — кулачковый выступ; 2 1 — восходящий выступ кулачка; 1 4 — нисходящий выступ кулачка; 1 5 — высота кулачкового выступа; 2 и 4 — базовые точки кулачкового выступа; 6 — центр вращения; 7 — направление вращения; 8 — газовые потоки; 9 — кулачок толкатель; 10 — клапан; 11 — возвратная пружина клапана; 12 — направляющий стержень клапана; 13 — направляющая втулка в головке блока цилиндров для стержня клапана; 14 — пропускная щель; 15 — седло клапана в головке блока; φ — угол между базовыми точками кулачкового выступа.



Рис. П.7. Фазы газораспределения в четырехтактном ДВС:
а — фазовая диаграмма (ФД) впускного клапана, б — ФД выпускного клапана, в — ФД для случая перекрытия клапанов, г — ФД четырехтактного двигателя; 1 — фаза начала открытия впускного клапана (момент начала впуска); 2 — фаза конца закрытия впускного клапана (момент конца впуска); 152 — фаза впуска (продолжительность открытого состояния впускного клапана); 3 — фаза начала открытия выпускного клапана (момент начала выпуска); 4 — фаза конца закрытия выпускного клапана (момент конца выпуска); 354 — фаза выпуска (продолжительность открытого состояния выпускного клапана); 14 — фаза перекрытия клапанов (продолжительность открытого состояния обоих клапанов); $φ_1$ — раскрыв угла, соответствующий фазе впуска; $φ_2$ — раскрыв угла, соответствующий фазе выпуска; $φ_3$ — раскрыв угла, соответствующий фазе перекрытия клапанов, 0 — центр круговой развертки. Все фазы измеряются в угловых градусах поворота коленчатого вала.

ются разверткой текущих значений фаз и фазовых состояний на периметр окружности. Фаза в таком случае определяется как угол поворота радиуса развертки, а фазовое состояние — как раскрыв угла. Если фаза определяется как момент наступления события, то угол поворота в угловых градусах отсчитывается по круговой диаграмме от краевой точки процесса по часовой стрелке. Во втором случае, когда фаза определяется как продолжительность части процесса, раскрыв угла измеряется в тех же угловых градусах между двумя границами для данной части процесса.

В теории поршневых двигателей внутреннего сгорания для описания работы газораспределительного механизма используются оба только что описанных определения термина "фаза". Так, когда надо определить момент открытия или закрытия клапана относительно мертвых точек, используют первое определение фазы (как угла).

Если же необходимо описать продолжительность открытого состояния клапана, используется второе значение термина "фаза", в соответствии с которым фаза открытого состояния клапана — это раскрыв угла на круговой диаграмме между началом открытия и концом закрытия данного клапана. Тогда фаза впуска — это фазовое состояние открытого впускного клапана, выраженное в градусах поворота коленчатого вала от начала открытия впускного клапана до конца его закрытия. А фаза выпуска — это фазовое состояние открытого выпускного клапана, выраженное в градусах угла поворота коленвала от начала открытия до конца закрытия этого клапана.

Когда фазы впуска и выпуска накладываются друг на друга, говорят, что имеет место перекрытие фаз, или перекрытие фазовых состояний клапанов, или просто — перекрытие клапанов. Таким образом, перекрытие клапанов — это раскрыв угла от начала открытия впускного клапана до конца закрытия выпускного.

Перечисленные терминологические соглашения для фаз газораспределения наглядно проиллюстрированы на рис. П.7.

Круговая диаграмма, изображающая фазы поршневого двигателя, называется фазовой диаграммой газораспределения. На рис. П.8 показана такая диаграмма для двигателя автомобиля "Москвич".

Кулачки распределительного вала. При теоретическом рассмотрении работы ДВС можно допустить, что фазы впуска и выпуска в точности совпадают по протяженности с тактовыми ходами поршня при впуске и выпуске. Тогда фазы газораспределения идеального двигателя будут иметь вид, показанный на рис. П.9а.

Как видно из диаграммы П.9а фазы впуска и выпуска идеального двигателя имеют раскрыв угла в 180°. Все фазы моментов равны нулю.

Чтобы клапан четырехтактного двигателя мог находиться в открытом состоянии в течение 180° поворота коленвала, надо чтобы кулачок распредвала "нажимал" на толкатель клапана в течение 90° своего поворота (поворота рас-

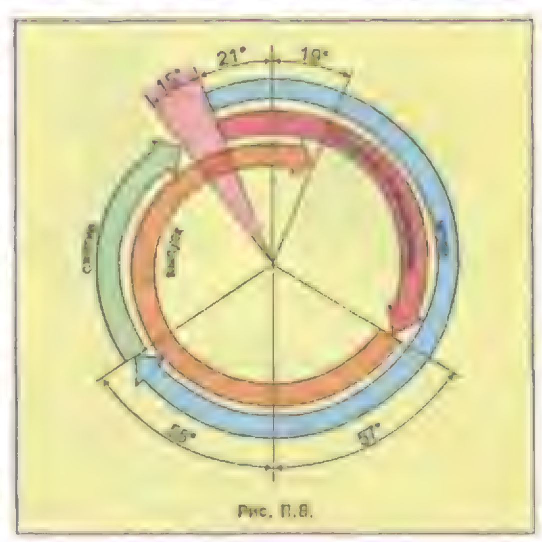


Рис. П.8.

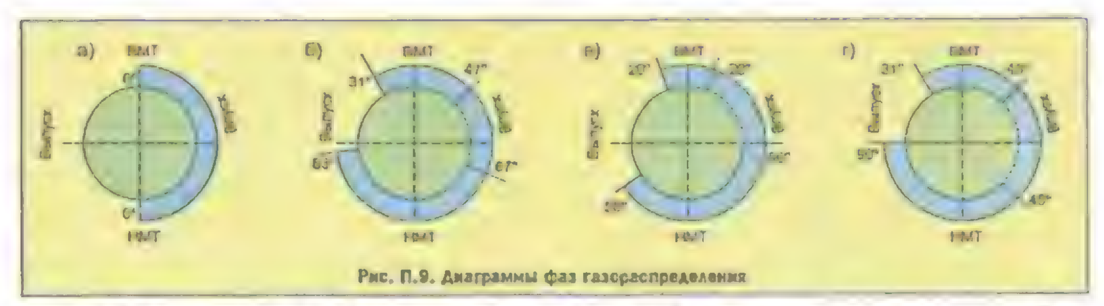


Рис. П.9. Диаграммы фаз газораспределения

предвала). При этом желательно, чтобы клапан открывался сразу на всю высоту своего хода и находился бы в таком состоянии до момента закрытия. Однако мгновенное открытие клапана на заданную высоту и поддержание этой высоты неизменной с помощью распредвала осуществить невозможно. Во-первых, никакой кулачок распредвала не выдержит ударных перегрузок, если восходящий выступ профиля кулачка будет слишком крутым. Во-вторых, как уже было сказано, в современном верхнеклапанном механизме газораспределения возможно соударение клапана с поршнем, если клапан сразу открыть на всю высоту подъема, или заблаговременно не опустить его на фаску седла. В-третьих, распредвал с крутыми кулачками работает с повышенным шумом. Таким образом, кулачок распредвала "обречен" на то, чтобы быть пологим и иметь определенную форму профиля. Для получения пологости и нужной формы профиль кулачка составляется сопряжением четырех окружностей с разными радиусами (гармонический кулачок) или сопряжением двух окружностей и двух прямых линий (тангенциальный кулачок). В любом случае для идеального двигателя (когда $\varphi_1 = \varphi_2 = 180°$) кулачок не может иметь высоту вершины более чем $h_к = 0{,}5\, R_к\, (1 - \cos\varphi)/\cos\varphi$, где φ — угол между базовыми точками кулачкового выступа, $R_к$ — радиус базовой окружности кулачка (рис. П.10).

На рис. П.10 приведены профили трах кулачков:

а) идеального двигателя (с углом $\varphi = 90°$);

б) с тангенциальным профилем ($\varphi = 120°$);

в) с гармоническим профилем ($\varphi = 150°$).

Из рис. П.10а следует, что высота $h_к$ вершины кулачка равна отрезку L_{45} и не может быть больше отрезка L_{35}, который определяется как: $L_{35} = S - R$, где S — диагональ квадрата 1320, R — радиус базовой окружности кулачка. Отсюда $h_к = 0{,}5\, L_{35}$, где $L_{35} = (R/\cos\varphi) - R$.

В современных двигателях радиус базовой окружности кулачка распредвала не более 16 мм ($R_к \leq 16$ мм). Тогда при раскрыве фаз в 180° (угол $\varphi = 90°$) ход h клапана всего лишь 1,8...2,1 мм. Такому ходу соответствует площадь пропускной щели клапана около 250 мм^2 (диаметр D головки клапана не превышает 40 мм). Этого недостаточно для современных высокоскоростных двигателей большой мощности. Чтобы увеличить пропускную способность клапана, приходится увеличивать его ход, а значит, и угол φ между базовыми точками кулачкового выступа. Это в свою очередь приводит к расширению фаз впуска и выпуска.

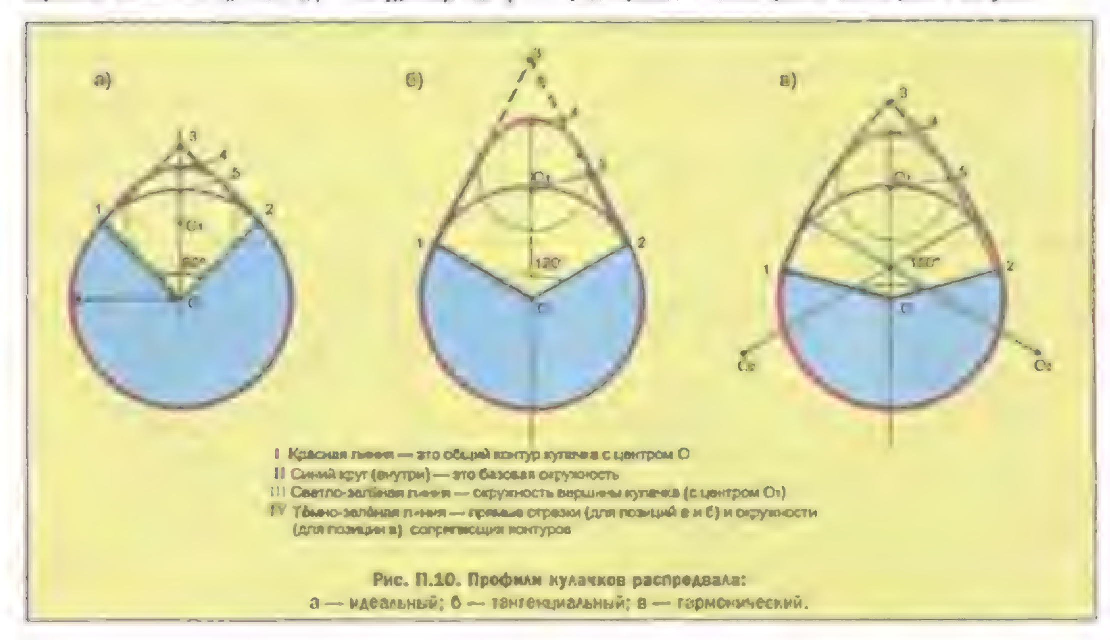


Рис. П.10. Профили кулачков распредвала:
а — идеальный; б — тангенциальный; в — гармонический.

Расширение фаз реализуется соответствующим изменением формы кулачков. На рис. 2.10, б показана геометрия кулачка, который обеспечивает фазу открытого состояния клапана в 240° по повороту КВ. Профиль этого кулачка составлен сопряжением базовой окружности с радиусом 01, окружности для вершины кулачка с радиусом 54 и двух прямых линий 13 и 23, которые являются касательными к обеим окружностям. Из геометрии профиля следует, что чем больше радиус окружности вершины (отрезок 54), тем больше будет раскрыв угла φ и тем больше высота h_k выступа кулачка, которая равна этому радиусу. Такой кулачок называется тангенциальным, и он сравнительно просто может быть изготовлен с помощью копира.*

На рис. П.10, в изображен профиль гармонического (пологого) кулачка** с раскрывом угла в 150° (300° по КВ). Он назван гармоническим потому, что на его профиле сопрягаются четыре окружности: базовая, вершинная и две сопрягающих. Главное достоинство кулачка с таким профилем то, что он не вызывает ударных перегрузок и вредных колебаний в конструктивных элементах распредвала и может работать с любым видом толкателя. Относительный недостаток гармонического кулачка — более сложная технология обточки и шлифовки. Конструктивной особенностью гармонического кулачка является та плавность хода, которую он обеспечивает клапану, и то, что он более пригоден для работы с клапанами низких камер сгорания.

Из рассмотрения профилей различных типов кулачков следует, что при узких фазах впуска и выпуска (около 180°) высота рабочего выступа кулачка ограничена значением $h_k = 0.5\,R_k\,(1 - \cos\varphi)/\cos\varphi$. В идеальном двигателе такой высоте кулачка соответствует максимально возможный ход клапана всего лишь 2 мм. Высоту рабочего выступа кулачка можно значительно увеличить, но при этом должны быть увеличены фазы впуска и выпуска. Это можно делать до определенных пределов, за которыми увеличение фаз становится вредным явлением. С другой стороны, ход клапана не может быть больше высоты камеры сгорания в той точке, где поршень ближе всего подходит к клапану. В современных двигателях при степени сжатия не менее 10 сближение клапана и поршня доведено до 1,5 мм. Таким образом, возможность увеличения эффективности газообмена за счет расширения фаз, а также за счет увеличения хода клапана в классической конструкции двигателя с одним впускным и с одним выпускным клапаном на цилиндр полностью исчерпана.

П.5. Газораспределительные механизмы в современных поршневых двигателях

При различных режимах работы двигателя газообмен в его цилиндрах происходит по-разному. На оборотах холостого хода, когда скорость движения газообразных масс в двигателе низкая, отработавшие газы не успевают эвакуироваться из цилиндров и двигатель, "задыхаясь", может остановиться. Чтобы этого не произошло, горючую смесь обогащают, что приводит к дополнительному расходу топлива и повышенному образованию CO в отработавших газах. Оптимальные условия работы двигателя нарушаются. Однако эффект задымления цилиндров на холостом ходу можно свести к минимуму более ранним открытием выпускного клапана в такте "рабочий ход". Тогда часть энергии расширения рабочего тела будет затрачиваться на принудительную и интенсивную эвакуацию отработавших газов. Но при высоких оборотах двигателя под большой нагрузкой раннее открытие выпускного клапана приводит к значительной потере развиваемой двигателем мощности. Получается так: фазу начала открытия выпускного клапана желательно иметь разной, а жесткий распредвал этого не обеспечивает.

Другой пример. Когда двигатель работает на очень высоких оборотах, скорость движения топливовоздушной смеси на входе цилиндра и выхлопных газов на его выходе тоже очень высокая. Это придает газовым потокам значительную дополнительную энергию движения за счет инерции. Поэтому одновременное открытие впускного и выпускного клапанов (перекрытие клапанов) в цилиндрах в конце выпуска и в начале впуска является крайне желательным явлением. Фаза перекрытия клапанов в таком случае должна быть расширена по сравнению с режимами работы двигателя в менее скоростных режимах, так как это способствует дополнительной продувке цилиндра под напором быстрых впускных газов и под сильным разрежением быстро вылетающих отработавших газов. Однако подобное расширение фазы перекрытия клапанов в режиме холостого хода недопустимо, т.к. приводит к нарушению процесса внешнего смесеобразования из-за обратного выхлопа части отработавших газов во впускной коллектор. Из этого примера следует, что и фазу перекрытия клапанов жесткий распредвал формирует неоптимально. Для сравнения на рис. П.9 приведены диаграммы фаз газораспределения теоретического двигателя (рис. П.9, а), реального двигателя ЗИЛ-116 (рис. П.9, б), двигателя с оптимальным холостым ходом по газораспределению (рис. П.9, в) и двигателя с форсированным режимом (рис. П.9, г).

Ясно, что каждому виду фазовой диаграммы соответствует определенная форма кулачков на распредвале. Так, для впускного и выпускного клапанов в идеальном двигателе кулачки симметричные, с идеальным профилем; у двигателя ЗИЛ кулачки гармонические, впускной с разворотом в сторону опережения, выпускной — почти симметричный; двигатель оптимальный по холостому ходу имеет тангенциальные кулачки — выпускной кулачок со значительным разворотом в сторону отставания, а впускной — в сторону опережения; у двигателя, работающего в форсированном режиме с расширенной фазой перекрытия клапанов, впускной кулачок гармонический и должен давать опережение по открытию клапана, а выпускной тангенциальный — отставание по закрытию. Опережение или отставание фазовых состояний клапана определяется и формируется разворотом кулачка против вращения распредвала (отставание) или по направлению (опережение). Важно также заметить, что в реальных двигателях с жестким распредвалом фазы впуска и выпуска почти никогда не бывают симметричными (их середина сдвинута относительно середины рабочего такта — хода поршня от одной мертвой точки к другой).

● Из рассмотрения диаграмм ясно, что жесткая привязка фаз газораспределения к вращению коленчатого

**Копир — это технологический шаблон, по которому в процессе производства на специальном копировальном станке обтачивают и шлифуют отливки распределительных валов.*

***Иногда кулачок с тангенциальным профилем называют острым, а гармонический — пологим.*

вала, даже при их расширении и (или) смещении относительно рабочих тактов двигателя, не является оптимальным способом формирования процессов газораспределения в реальных ДВС. Получается так: изменился режим работы двигателя, надо бы соответственно изменить и фазы газораспределения. Но газораспределительный механизм с жесткими кинематическими связями не позволяет этого сделать. Приходится искать "золотую середину". Компромиссное среднее положение фаз газораспределения относительно нижней и верхней мертвых точек для каждого конкретного двигателя определяется опытным путем на специальном экспериментальном стенде. Найденные таким способом фазы газораспределения называются установочными. До недавнего времени опытный подбор установочных фаз был единственной возможностью подогнать жесткий распредвал под реальные процессы газообмена в ДВС на различных режимах его работы.

При подборе установочных фаз имеют в виду следующие соображения. Фазы, раскрыв угла которых более 180°, могут быть сдвинуты относительно мертвых точек, а также относительно друг друга. Манипулируя шириной фаз впуска и выпуска и их сдвигом, можно подгонять рабочие параметры двигателя под заданные условия эксплуатации. Такая возможность обусловлена тем, что эффективность газообмена в цилиндрах ДВС определяется степенью их наполнения свежим зарядом и степенью их очистки от отработавших газов. А наполнение и очистка цилиндров непосредственно зависят от продолжительности фаз впуска и выпуска, и от фазы их взаимного наложения друг на друга (фаза перекрытия клапанов).

Можно детально объяснить, почему так происходит, но здесь ограничимся тем, что укажем на три основных момента:

1. В высокоскоростном двигателе наполнение цилиндра свежим зарядом несколько увеличивается (примерно на 10...15%) за счет напора газов со стороны впускного коллектора, если впускной клапан остается открытым на некоторое время после НМТ (50°...80° по углу поворота КВ).

2. При раннем открытии выпускного клапана (за 40°...70° до НМТ, в такте "рабочий ход") большая часть отработавших газов (до 60%) эвакуирутся из цилиндра достаточно высоким (4...5 атм) давлением газов. (Поршень в такте выпуска вытесняет из цилиндра всего 40...50% отработавших газов.)

3. Одновременное открытие выпускного и впускного клапанов (перекрытие клапанов) в конце такта выпуска (за 20...30° до ВМТ) и в начале такта впуска (20...50° после ВМТ) способствует продувке камеры сгорания, из которой вытесняются остаточные отработавшие газы. Продувка происходит за счет инерционного движения газовых потоков во впускном и выпускном коллекторах.

Используя эти три фактора воздействия на эффективность газообмена, можно создавать двигатели с различными рабочими характеристиками. Для двигателей обычного назначения фазы газораспределения устанавливаются таким образом, чтобы они наиболее оптимально соответствовали применяемому на данном двигателе способу смесеобразования и конструкции газопропускных каналов и тем самым обеспечивали устойчивую работу двигателя при всех возможных режимах его работы.

Однако усредненный подбор фаз газораспределения не является единственным способом улучшения характеристик двигателя внутреннего сгорания с жестким распредвалом. Так, современные двигатели теперь стали оборудовать **многоклапанным газораспределительным механизмом**, в котором на один цилиндр приходится до четырех и даже до пяти клапанов. Клапаны приводятся в действие от двух распределительных валов группами по два или три клапана.

Такая конструкция газораспределительного механизма дает возможность значительно увеличивать суммарную площадь пропускных щелей клапанов во время одновременного их открытия сравнительно небольшим ходом.

Таким образом, многоклапанная система позволяет реализовать более эффективный газообмен в цилиндрах ДВС при высокой степени сжатия и при высоких оборотах без применения искусственного наддува цилиндров свежей порцией воздуха и без значительного расширения фаз. Это существенно повышает выход мощности ДВС с единицы его конструктивного объема. Как следствие, многоклапанные двигатели меньше по весу и габаритам в сравнении с классическими моделями ДВС.

На рис. П.11 приведен чертеж пятиклапанной камеры сгорания для двигателя, которым оборудуются автомобили "Audi-A4" начиная с 1994 года.

Четырехцилиндровый двигатель "Audi-A4" с двадцатью клапанами работает без наддува и развивает мощность в 125 л.с. уже при 5800 об/мин. Он имеет плавный ход за счет "длинной полочки" в характеристике крутящего момента (крутящий момент в 165 Нм развивается на 3500 об/мин и в 173 Нм — на 3950 об/мин). Три впускных и два выпускных клапана своим коротким ходом и малой длительностью открытия позволяют приблизить продолжительность и место нахождения фаз газораспределения к их соответствию с рабочими тактами идеального теоретического двигателя. Перекрытие клапанов в такой конструкции минимальное. Это значительно улучшает такие показатели работы ДВС, как бесшумность и плавность хода, динамичность и расход топлива. Вращение коленчатого вала вначале передается зубчатым ремнем на выпускной распределительный вал (в передней части двигателя), а с него — на впускной распределительный вал цепной передачей (сзади двигателя).

В настоящее время многоклапанные системы находят широкое применение на ДВС для современных легковых автомобилей.

Еще одно новшество в современном механизме газораспределения — это гидравлические толкатели. Существуют две разновидности гидравлических толкателей: с подачей масла под давлением от системы смазки и с герметичной масляной подушкой, находящейся под давлением пружины или сжатого газа. Такие толкатели передают усилие от распределительных валов непосредственно на клапаны без промежуточных коромысел, что исключает необходимость регулировки клапанов в процессе эксплуатации ДВС.

Но самым перспективным направлением в повышении эффективности работы газораспределительного механизма является гибкое программное управление работой клапанов, что может быть реализовано несколькими способами: поворотом составного распредвала относительно коленчатого вала на соответствующий угол, создавая тем самым опережение или отставание распредвала с одновременным расширением вершин кулачков; изменением профиля кулачка по за-

данному закону управления; или, например, сделать кулачок вращающимся на распредвалу с жесткой его фиксацией в нужный момент от электронной автоматики.

Наиболее активно и плодотворно в направлении внедрения электроники в управление механизмом газораспределения работали японские автомобилестроители. Так, в 1992 году две японские фирмы "Honda" и "Mitsubishi" объявили о своих намерениях выпустить двигатель с автотронной системой управления клапанами. С 1993 года фирма "Honda" действительно освоила серийный выпуск таких двигателей, на которых получила широкую и выпуклую характеристику для крутящего момента и значительную удельную мощность — 75 кВт/л. Не менее интересны достижения фирмы "Mitsubishi". Эта фирма оснастила автотронной системой "Mivec" двигатель автомобиля "Lanser". Этот двигатель объемом 1600 $см^3$ до модернизации развивал мощность 83 кВт при 6000 об/мин и максимальный крутящий момент 137 Нм. После замены обычной головки блока цилиндров на головку с автотронным управлением клапанами двигатель стал мощнее на 40 кВт, а максимальный крутящий момент достиг значения в 167 Нм. С этим же двигателем более легкий автомобиль "Mit-Colt" показал расход топлива 3,75 л/100 км при постоянной скорости движения 60 км/ч. Такие показатели получены за счет применения в автотронной системе управления клапанами, в системе впрыска топлива и в системе цифрового зажигания единой гибко интегрированной программы управления, заложенной в память центрального бортового компьютера, тем самым достигнута высокая точность срабатывания всех систем.

Рис. П.11. Пятиклапанная камера сгорания:
1 — блок цилиндров; 2 — головка блока цилиндров; 3 — выпускной клапан; 4 — свеча зажигания; 5 — кулачок выпускного распредвала; 6 — выпускной распредвал; 7 — кулачек впускного распредвала; 8 — впускной распредвал; 9 — впускной клапан; 10 — пружина клапана; 11 — гидравлический толкатель саморегулирующийся; 12 — поршень; 13 — шатун; 14 — камера сгорания; 15 — гнездо для свечи зажигания

На рис. П.12 показана упрощенная модель основного функционального узла механизма газораспределения с электромагнитным фиксатором и автотронным управлением клапанами для четырехцилиндрового шестнадцатиклапанного двигателя.

В этом механизме два верхних распредвала впускной и выпускной. На каждую пару одноименных клапанов работают не два одинаковых, а два разнопрофильных кулачка: один пологий, другой острый. Толкающие действия клапанам могут сообщаться или от острого, или от пологого кулачка попеременно или от обоих кулачков сразу. Режимы работы кулачков, зависящие от режима работы двигателя, заложены в программу бортового компьютера и реализуются с помощью электрогидравлического или электромагнитного управления системой передаточных коромысел. Такой работой механизма реализуется автоматическое управление фазами и высотой хода клапанов.

Показанная на рис. П.12 модель функционального узла с электронным управлением механизмом газораспределения работает следующим образом. Если по программе требуется, чтобы клапан открывался и закрывался по синусоидальному закону, в работу включается гармонический (пологий) кулачок. Для этого сигнал управления от ЭБУ подается на соленоид 2, который выталкивает шток 3, а тот в свою очередь надавливает на фиксатор 4. Происходит жесткая фиксация толкателя 6 на промежуточном валу 5, который одновременно является поворотной осью для Т-образного коромысла 8. Пологий кулачок 13 набегает на левый ролик 9, и спаренные клапаны 7 открываются наклоном Т-образного коромысла. Так как в это время правый толкатель 6 не зафиксирован на оси 5, то он никакого действия на коромысло 8 не оказывает. Аналогично работает и острый кулачок 11 или оба кулачка сразу. В последнем случае может быть получена сколько угодно сложная форма управления клапанами. Достоинством системы является возможность выключения клапанов. Недостатки — конструктивная сложность и низкая надежность механизма фиксации толкателя 6 на оси 5. Сравнительно быстрый износ фиксаторов приводит не только к нарушению программы работы двигателя, но и к полной его остановке. Возможны и другие варианты исполнения фиксаторов, например с электромагнитным гидрофиксатором.

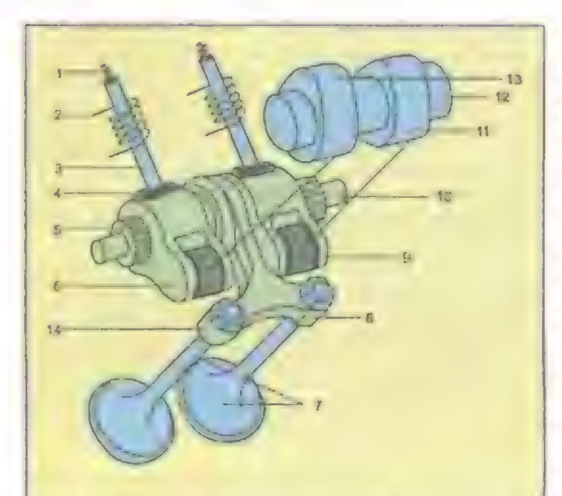


Рис. П.16. Модель функционального узла механизма газораспределения с электрически управляемыми клапанами:
1 — возвратная (обратно-тянущая) пружина; 2 — обмотка электромагнитного соленоида; 3 — шток-керн соленоида (активатор фиксатора); 4 — фиксатор; 5 — ось толкателей с насечкой, жестко соединена с Т-образным коромыслом; 6 — толкатель (короткое коромысло) с роликом и фиксатором; 7 — клапаны впускные; 8 — Т-образное коромысло, жестко установленное на оси 5; 9 — ролик толкателя; 10 — ось для блока толкателей (внутри оси 5); 11 — острый кулачок распредвала; 12 — распределительный вал впускной; 13 — пологий кулачок распредвала; 14 — шарнирная опора клапана в Т-образном коромысле.

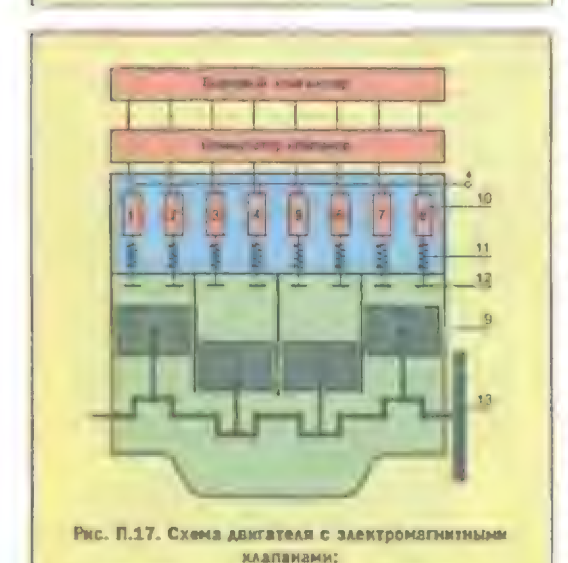


Рис. П.17. Схема двигателя с электромагнитными клапанами:
1...8 — электромагнитные клапаны; 9 — поршень; 10 — головка блока цилиндров с электромагнитными клапанами; 11 — пружина клапана; 12 — клапан; 13 — коленвал.

Однако идеальный по газораспределению двигатель внутреннего сгорания пока еще не создан, хотя изобретен профессором МАДИ В.М. Архангельским еще в пятидесятых годах XX века (рис. П.17). По идее Архангельского идеальный двигатель должен управляться не механическими клапанами с приводом от распределительного вала, а электромагнитными клапанами с электрическим управлением процессами их открывания и закрывания. Ясно, что если клапаны будут включаться и выключаться по электрическим сигналам, то можно будет создать программу идеального газораспределения и управления клапанами так, как это делается в современных системах зажигания при формировании момента искрообразования.

Главной проблемой реализации идеи электромагнитного управления газораспределительными клапанами является пока непреодолимая сложность создания малогабаритных, мощных и быстродействующих электрических клапанов с тихой работой. Когда это станет возможным, процессы газораспределения в поршневом ДВС будут осуществляться не газораспределительным механизмом с распредвалом, а электромагнитными клапанами с управлением от электронной автоматики или от центрального бортового компьютера.

П.6. Топливовоздушная смесь

Бензин и необходимый для его сгорания воздух поступают в цилиндры ДВС в виде топливовоздушной смеси. **Топливовоздушная смесь** — это смесь мельчайших частиц бензина с атмосферным воздухом, которую получают тщательным перемешиванием этих двух компонентов. Ясно, что до перемешивания бензин должен быть распылен, а затем и испарен еще до момента воспламенения.

Различают три способа смесеобразования для поршневых двигателей: **внутренний способ**, когда процесс перемешивания происходит непосредственно в объеме цилиндра; **внешний способ** — когда смесь получают вне объема цилиндра, например во впускном коллекторе; и **смешанный, или комбинированный способ** смесеобразования, при котором первый этап перемешивания протекает вне цилиндра, а второй — внутри цилиндра. Для бензиновых ДВС самым распространенным является способ внешнего смесеобразования. Бензин перед смешиванием с воздухом распыляется либо пульверизацией, либо впрыском под давлением. Процесс пульверизации реализуется в **карбюраторах**, а процесс впрыска с помощью специальных устройств впрыска, которые называются **форсунками**.

Для внешнего смесеобразования требуется легко испаряемое топливо, к которому относятся сжиженные горючие газы и бензин. Бензин — это продукт перегонки нефти. Состоит бензин на 85% из углерода и на 15% из водорода и относится к **легким углеводородным топливам**. В смеси с воздухом пары бензина образуют не только горючие, но и взрывные смеси, что в основном определяется весовым соотношением бензина и воздуха, а также их парциальным давлением и температурой в смеси. Соотношение 1/14,7 для бензина и воздуха является **стехиометрическим**, так как оно соответствует законам строгого количественного соотношения масс веществ, участвующих в химической реакции горения.

Следует иметь в виду, что топливовоздушная смесь, приготовленная внешним способом смесеобразования, еще не

является **топливовоздушным зарядом** для поршневого двигателя. От **миксерной зоны** (места образования смеси) и до камеры сгорания в цилиндре топливовоздушная смесь многократно изменяет свое **агрегатное состояние** под действием чередующихся изменений давления и температуры. Как следствие, часть паров бензина переходит обратно в жидкое состояние охлаждаясь или снова образуется пар при соприкосновении бензиновых пленок с горячими стенками впускной системы и цилиндра. В результате в камеру сгорания поступает не стехиометрическая смесь, даже если она идеально приготовлена в миксерной зоне, а смесь, отличающаяся от оптимального состава в сторону уменьшения или в сторону увеличения количества бензина.

Из сказанного ясно, что по весовому составу топливовоздушная смесь, приготовленная вне цилиндра, может заметно отличаться от смеси, сжатой к моменту воспламенения в камере сгорания. Это обстоятельство является главным недостатком способа внешнего смесеобразования, который приводит к дополнительным потерям бензина, к потере устойчивости работы двигателя при изменении его режимов, а также к дополнительным конструктивным сложностям системы приготовления и впуска топливовоздушной смеси. Для того чтобы поддерживать состав топливовоздушного заряда близким к стехиометрическому, процессом приготовления топливовоздушной смеси приходится постоянно управлять путем увеличения или уменьшения количества подаваемого в систему смесеобразования бензина. Наиболее качественно это реализуется в современных системах впрыска бензина с электронным управлением электромагнитными форсунками.

П.7. Горючая смесь и отработавшие газы

В реальных автомобильных двигателях стехиометрическое соотношение в горючей смеси «бензин-воздух» часто нарушается. Это зависит от реальных режимов и условий работы ДВС. Если бензина в горючей смеси становится больше, то говорят, что смесь **обогащена**, или **богатая**. Если меньше — то смесь **обедненная**, или **бедная**. Однако в теорию двигателя введен не коэффициент избытка или недостатка бензина, а **коэффициент избытка воздуха** α (альфа). Коэффициент α определяется как отношение действительно выгоревшего количества воздуха $M_д$ к M_0 — теоретически необходимому при полном сгорании данной порции бензина, т.е. $\alpha = M_д/M_0$. При стехиометрическом соотношении, когда бензин и воздух находятся в смеси в пропорции примерно один к пятнадцати, коэффициент избытка воздуха α (альфа) принимают равным единице, и смесь считают **нормальной** ($M_д = M_0$). Обогащение или обеднение горючей смеси для бензиновых двигателей допустимо лишь в определенных пределах. Если состав горючей смеси по коэффициенту α выходит за диапазон $0,7 < \alpha < 1,35$, то рабочая смесь в классическом ДВС вообще не воспламеняется. Таким образом, указанный диапазон изменения α является граничным рабочим интервалом для обогащения или обеднения горючей смеси.

В указанном интервале для α сгорание рабочей горючей смеси происходит по-разному. Сгорание бедной смеси ($\alpha > 1$) может привести к неустойчивости процесса сгорания (особенно при $\alpha > 1,25$). А это в свою очередь приводит к перебоям в работе ДВС за счет пропусков воспламенения на переходных режимах. Наибольшей скорости сгорания рабочей смеси соответствует α = **0,8-0,9**. Но когда выжигается чрезмерно богатая смесь ($\alpha < 0,8$), появляется вероятность неполного сгорания бензина. Несгоревший бензин частично выбрасывается с отработавшими газами в атмосферу, а частично (в виде тонких пленок) сползает по стенкам цилиндров в масляный картер, что приводит к ускоренному износу деталей двигателя. Кроме того при недостатке кислорода интенсивно образуется угарный газ CO.

Однако при незначительном обогащении или обеднении горючей смеси имеют место положительные эффекты.

Так, обедненная смесь на средних и умеренно увеличенных нагрузках дает заметную экономию топлива. Обогащение смеси на высоких оборотах форсирует двигатель, и он начинает отдавать максимальную мощность. На рис. П.14 приведены зависимости мощности $P_д$ двигателя и расхода $M_д$ бензина от коэффициента избытка воздуха.

Из графика видно, что в ДВС с принудительным искровым зажиганием и с внешним смесеобразованием мощность $P_д$ двигателя и расход $M_д$ топлива на единицу развиваемой мощности в сильной степени зависят от коэффициента α. Максимальных значений развиваемая двигателем мощность достигает при α в интервале 0,9-0,95. Минимальный расход топлива имеет место при α в интервале 1,0-1,1.

● При рассмотрении работы поршневого ДВС было указано, что после сгорания топливовоздушного заряда в камере сгорания в цилиндре образуется рабочее тело в виде сильно разогретых отработавших газов, которые являются продуктами химической реакции горения.

Исходными компонентами реакции горения являются: кислород O_2, азот N_2, разнообразные инертные примеси P_x и водяной пар H_2O (все это составляющие компоненты окружающей атмосферы), а также углерод C и водород H, два последних компонента — составляющие части бензина.

В результате сгорания исходных компонентов образуются следующие отходные продукты химической реакции горения: окись углерода CO_2, окислы азота NO_x, газообразные инертные примеси P_x, частично несгоревший бензин в виде радикала углеводородных соединений CH, не вступивший в реакцию горения молекулярный кислород O_2 и не полностью окисленный углерод в виде угарного газа CO, а также водяной пар H_2O и химически пассивный атмосферный азот N_2.

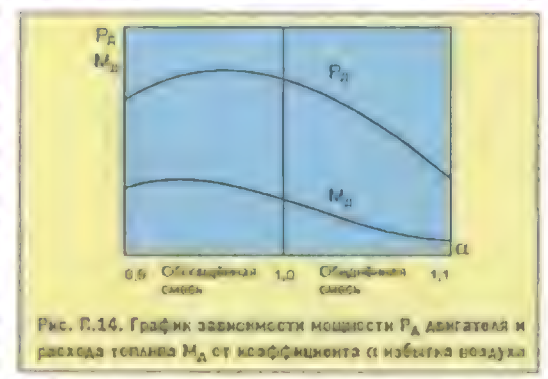


Рис. П.14. График зависимости мощности $P_д$ двигателя и расхода топлива $M_д$ от коэффициента α избытка воздуха

Отходные продукты реакции горения и есть отработавшие выхлопные газы бензинового поршневого двигателя.

Следует также отметить, что в состав отработавших газов могут входить свинцовые соединения, так как они иногда добавляются в бензин с целью повышения его антидетонационных свойств.

Концентрация угарного газа в выхлопных газах современных бензиновых ДВС может достигать 6-8% по объему. Концентрацию CH и NO_x чаще выражают в миллионных долях (ч/млн) в объеме выхлопных газов (см. табл. П.1).

Таблица П.1

№ п/п	Тип двигателя	CH [illegible]	CO %	NO [illegible]	Сажа [illegible]
1	Карбюраторный	[illegible]	1,5-6,0	[illegible]	0,05
2	С впрыском бензина	100-1000	0,1-2,0	300-1500	0,03

Главным устройством на двигателе, которое ответственно за процентный состав токсичных веществ в отработавших газах, является система приготовления и канализации рабочей горючей смеси — система топливного питания. Именно под воздействием этой системы в топливовоздушном заряде может изменяться коэффициент избытка воздуха α (альфа), а от неконтролируемого изменения этого коэффициента в значительной степени изменяется концентрация вредных веществ в отработавших газах.

На рис. П.15 представлены графики зависимости CH, CO, NO_x, O_2 в отработавших газах от коэффициента α для двигателей без специальных средств экологической защиты. При α = 1 концентрации этих компонентов относительно высокие и для ряда стран не отвечают требованиям национальных стандартов на выбросы этих веществ. Как следствие, для современных автомобилей разрабатываются экологические системы, которые реализуют нейтрализацию токсичности отработавших газов (о нейтрализации токсичности отработавших газов автомобиля см. главу 20).

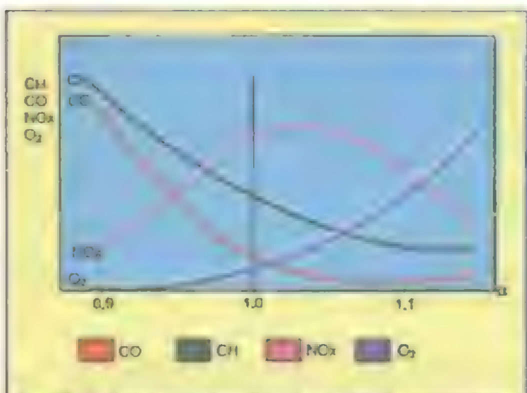


Рис. П.15. Графики зависимости составных компонентов выхлопных газов от коэффициента α избытка воздуха: CH — углеводороды, CO — окись углерода (угарный газ); NO_x — окислы азота; O_2 — остаточный кислород.

П.8. Недостатки смесеобразования способом карбюрации

Классическим способом приготовления горючей смеси в бензиновых поршневых двигателях является способ карбюрации. Карбюрация — это процесс внешнего смесеобразования путем распыления бензина в потоке воздуха за счет самоистечения бензина из отверстия топливного жиклера в быстрый поток воздуха под действием разрежения в зауженном диффузоре. Пневмомеханическое устройство, реализующее такой процесс, называется карбюратором. Почему карбюраторы, хотя они и дешевле, не выдержали конкуренции перед системами питания с форсунками впрыска? Рассмотрим подробно недостатки карбюрационного смесеобразования.

Из теории поршневых двигателей внутреннего сгорания известно, что самым совершенным из них является дизельный двигатель. Он меньше расходует топлива на единицу вырабатываемой энергии, больше отдает мощности на единицу рабочего объема цилиндров, может работать на низкосортных цетановых топливах, менее опасен в экологическом отношении и так далее. Суть всех преимуществ дизельного ДВС (при всем их разнообразии) состоит в том, что топливовоздушная смесь в нем образуется непосредственно внутри цилиндров. То есть в дизельных ДВС имеет место внутреннее смесеобразование, при котором потери топлива и вырабатываемой энергии минимальны. Возникает вопрос, а почему столь совершенный внутренний способ приготовления горючей смеси не нашел широкого распространения на бензиновых ДВС? Главная особенность дизеля, заключающаяся в самовоспламенении топливовоздушного заряда от сильного сжатия, не может быть реализована с применением бензина в качестве топлива. Пары бензина при сильном нагревании и под большим давлением сгорают очень быстро и взрывообразно, а значит, неуправляемо, и даже в обычных бензиновых ДВС это в ряде случаев приводит к детонациям, разрушающим двигатель.

Вторая сложность состоит в том, что при применении принудительного зажигания бензиновых смесей внутреннее смесеобразование хотя и возможно, но крайне затруднительно из-за необходимости впрыскивать бензин во внутрь сильно разогретого цилиндра (в конце впуска температура воздуха достигает 300°-400°С). В таком случае может иметь место быстрое испарение бензина и образование облака без перемешивания с воздухом. Равномерный качественный процесс внутреннего смесеобразования может не состояться. Для реализации внутреннего смесеобразования бензина с воздухом требуется интенсивная турбулентность внутри цилиндра, для чего необходимо применение бензонасоса высокого давления, специальных форсунок впрыска, специальных камер сгорания, клапанов и поршней. Конструкция двигателя при этом значительно усложняется, а стоимость заметно возрастает.

Третьим недостатком карбюраторного смесеобразования является многократное изменение агрегатного состояния горючей смеси по пути из миксерной зоны в камеру сгорания под влиянием изменений температуры и давления. В карбюраторном двигателе этот путь включает в себя: диффузор карбюратора, дроссельную заслонку, трубы впускного коллектора, предклапанную зону головки цилиндров, впускной клапан и сам цилиндр. На каждом переходе горючая

смесь, даже если она идеально приготовлена в миксерной зоне карбюратора, теряет свои стехиометрические свойства, и к моменту воспламенения в камере сгорания совершенно не известно, какой у этой смеси коэффициент избытка воздуха α (альфа). На практике получается так: в цилиндре бензина сгорает столько, сколько это возможно в данных условиях протекания химической реакции горения; а чтобы процесс горения не прерывался от цикла к циклу, карбюратор заблаговременно обогащает смесь с учетом потерь топлива по длинному пути. Это достигается соответствующим увеличением отверстий в топливных жиклерах. Заблаговременное обогащение рабочей смеси при карбюрации есть неизбежный недостаток такого способа смесеобразования.

Четвертым существенным недостатком карбюраторного способа смесеобразования является тот факт, что в процессе пульверизации бензин не может быть распылен на очень мелкие капли. Диаметр капель в карбюраторе не бывает меньше 100-120 мкм, в то время как при принудительном распылении бензина под давлением через форсунку диаметры капель не превышают 40-50 мкм, а при впрыске бензина под высоким давлением или одновременно с нагнетаемым в форсунку воздухом и того менее (до 20 мкм). Крупные капли бензина так же, как и длинный путь горючей смеси при карбюраторном способе смесеобразования, способствуют более быстрому переходу паров бензина обратно в жидкое состояние.

Из сказанного ясно, что система внешнего смесеобразования с карбюратором, у которой протяженность впускного канала для топливовоздушной смеси всегда значительна, а распыленные капли бензина всегда достаточно крупные, изначально является несовершенной по показателям экономичности топлива и по качеству приготовляемой смеси. Как следствие, часть бензина в карбюраторном ДВС расходуется бесполезно, так как выбрасывается через выхлопную систему в атмосферу либо в виде несгоревших паров бензина, либо в виде ядовитого угарного газа СО. Осевший на стенки цилиндров бензин может оказаться в системе смазки ДВС.

Эти обстоятельства и заставили разработчиков новых моделей автомобильных двигателей внутреннего сгорания перейти от карбюрации к впрыску бензина в системах топливного питания.

П.9. Электроискровое зажигание

Автоматизм воспламенения топливовоздушной смеси (ТВ-смесь), присущий дизельным двигателям, в которых химическая реакция горения паров цетанового топлива начинается под воздействием значительного повышения температуры и интенсивного сжатия, совершенно не пригоден для легкотопливных ДВС, т.к. устойчиво управлять моментом самовоспламенения бензиновой топливовоздушной смеси в процессе работы ДВС пока никак не удается. Единственный пригодный для бензиновых ДВС способ воспламенения горючей смеси — это способ электроискрового зажигания. Такое воспламенение называется принудительным.

Интенсивная электрическая искра, которая является запалом в современных автомобильных системах зажигания, формируется в свече зажигания посредством разряда на нее индуктивного накопителя (катушки зажигания).

Уже отмечалось, что совокупность индуктивного накопителя и свечи зажигания это одно из ранних, но очень удачных изобретений для системы зажигания. Дело в том, что индуктивный накопитель легко, точно и просто управляется по времени разряда любым спусковым устройством, начиная от контактной пары и кончая бортовым компьютером. У индуктивного накопителя больше КПД, чем у емкостного. Он высоконадежен, имеет стабильные параметры, недорого стоит и прост в изготовлении. Он обладает также свойствами повышающего трансформатора, а, следовательно, может управляться по относительно низкому напряжению.

Но главное достоинство индуктивного накопителя заключается в формировании эффективно работающей в тяжелых условиях камеры сгорания высоковольтной искры.

Объясняется это тем, что искровой разряд от индуктивного накопителя имеет две фазы: очень короткую емкостную (не более 1-2 мкс) и длительную (от 3 до 10 мс) индуктивную. Емкостная фаза разряда — высоковольтная (не менее 10 000 вольт), с большой плотностью электрической энергии (до 50 кВт·с) в импульсе. Во время этой фазы происходит электрический пробой искрового промежутка свечи зажигания и образование электроискрового шнура в этом промежутке. Температура в искровом шнуре достигает 10 000°С, и происходит первоначальное воспламенение горючей смеси.

Емкостная фаза — это разряд емкости C_2 вторичной цепи системы зажигания.

Часть энергии искрового разряда переходит в индуктивную фазу разряда. Так как искровой шнур это сильно ионизированный жгут газа с низким внутренним сопротивлением, напряжение на электродах свечи быстро и резко падает (до 2000 В), а ток разряда становится незначительным (около 100 мА).

При этих условиях электроискровой разряд переходит в тлеющую низковольтную индуктивную фазу.

Наличие длительной индуктивной фазы способствует увеличению продолжительности принудительного выжигания остатков топливовоздушного заряда.

Ясно, что длительность электроискрового разряда и соотношение длительностей его фаз сильно зависят от тех условий в камере сгорания, в которых он протекает.

В современных электронных системах зажигания с помощью практически безынерционного микропроцессора реализуется автоматическое управление такими параметрами высоковольтной искры в свече зажигания, как: длительность разряда, энергия разряда, момент разряда относительно заданного начала отсчета, запрет (пропуск) зажигания при отключении цилиндра, перемещение момента воспламенения в сторону уменьшения или увеличения угла опережения зажигания с целью предотвращения детонации в цилиндре или для управления частотой вращения двигателя на холостом ходу.

Последняя из перечисленных функций позволяет классифицировать современную систему зажигания как автотронную систему.

П10. Применение дизельного двигателя на легковых автомобилях

Дизельный двигатель — это поршневой двигатель внутреннего сгорания с самовоспламенением топливовоздушной смеси от сильного сжатия. Этот двигатель изобретен

Таблица П.2

№	Потребители тепловой энергии в ДВС	Тепловой баланс двигателя, %		
		карбюраторного	с системой впрыска бензина	дизельный, грузового автомобиля
1	Рабочее тело в цилиндре	20...30	30...40	40...50
2	Система охлаждения ДВС	12...27	15...35	15...30
3	Отработавшие газы	30...35	25...50	25...35
4	Газораспределительные клапаны	2...5	3...5	3...5
5	Потери при неоптимальном сгорании ТВ-смеси	10...50	5...30	2...8
6	Прочие потери	4...10	3...8	2...5

Таблица П.3

Автомобиль "Mercedes" EW-210 — 1995 г.	Модель двигателя		
	E200	E220D	E300D
Тип двигателя	бензиновый	предкамерный дизель	
Рабочий объем, см3	1998	2155	2996
Мощность, кВт при об/мин	100/5550	70/5000	100/5000
Разгон с места до 100 км/ч, с	11,3	17,0	13,0
Максимальная скорость, км/ч	210	180	205
Расход топлива в л/100 км: при 90 км/ч при 120 км/ч по городскому циклу	 6.1 7,6 10,9	 5,0 6,5 8,3	 5,3 6,8 10,0

немецким конструктором Рудольфом Дизелем в 1897 году и назван его именем. Характерной особенностью дизельного двигателя является применение в нем внутреннего смесеобразования и двухтактного цикла работы (существуют конструкции и четырехтактных дизельных ДВС). Это обеспечивает ему ряд существенных преимуществ перед бензиновыми двигателями. Так, дизель по сравнению с бензиновым двигателем равного объема расходует топлива на 30-40% меньше, что можно пояснить следующим образом. В любом поршневом ДВС тепло, образующееся при сгорании топлива в цилиндрах, используется на полезную работу лишь частично (20...50%). Значительная часть тепла "вылетает" в трубу глушителя (25...40%). В систему охлаждения двигателя отводится около 12...35%. При этом тепловая энергия, которая образуется от химической реакции горения одного и того же типа и количества топлива, в значительной степени зависит от конструктивного совершенства двигателя, его состояния и режимов его работы. В дизельном двигателе топливо сгорает в условиях постоянного избытка воздуха и с высокой скоростью. Как следствие, оно сгорает полностью, чем и обеспечивается значительная экономия топлива и высокий КПД короткого теплового цикла.

Процентное распределение тепла по его "потребителям" в нормально работающем (в отлаженном) двигателе называется **тепловым балансом двигателя** (см. табл. П.2).

Как следует из табл. П.2, тепловой баланс наиболее ярко демонстрирует преимущества дизельного двигателя перед бензиновыми.

Кроме сказанного, дизельный ДВС работает на дешевых (цетановых) сортах топлива без детонации и, что наиболее важно, обеспечивает постоянство крутящего момента в более широком интервале частот вращения коленчатого вала двигателя. Экология дизельного ДВС также более благоприятна.

Но при попытках применить дизельный ДВС на легковых автомобилях моторостроители еще до сих пор не смогли реализовать в полном объеме всех его достоинств. Оказывается, дизельный двигатель при уменьшении диаметра поршня ниже определенного значения (менее 100 мм) начинает терять свои преимущества. Это явление есть следствие конструктивной сложности получения высоких степеней сжатия, присущих дизелям, в двигателях с малым диаметром поршня. Так, для легковых автомобилей, где недопустимы чрезмерно большие вес и габариты двигателя, стали изготавливать дизельные ДВС со сложной конфигурацией камер сгорания. Появились предкамерные и вихрекамерные дизельные двигатели. Но и при таком усовершенствовании эти двигатели не достигли показателей крупногабаритных дизелей. Самые совершенные из современных дизельных ДВС для легковых автомобилей, например двигатели E-220D и E-300D фирмы MERCEDES, по-прежнему проигрывают крупногабаритным дизелям грузовых автомобилей по расходу топлива на 10-15%. А бензиновым ДВС — по целому ряду технических показателей (см. табл. П.3), а также по весу, габаритам и конструктивной сложности. Более того, дизельные двигатели обладают повышенным рабочим шумом и более жесткой работой, что есть следствие высокой степени сжатия ТВ-смеси в цилиндрах, а также применения топливного насоса высокого давления.

Следует отметить, что любой дизельный ДВС хуже заводится при низких температурах и требует установки АКБ повышенной емкости. В системе пуска дизеля необходимо предусматривать средства облегчения пуска, например калильные свечи электроподогрева в камере сжатия.

Все это привело к тому, что на современных легковых автомобилях дизельные ДВС применяются крайне ограниченно. Американские фирмы дизельные двигатели на легковые автомобили не устанавливают. Из автомобилей европейского производства в среднем не более 5% выпускаются с дизельными ДВС. В Японии таких автомобилей, не считая микроавтобусов, не более 8%. И только в Германии легковых автомобилей с дизельными двигателями выпускается около 17%. В России легковые дизели пока не изготавливаются. Ограниченное применение дизельных ДВС на легковых автомобилях есть следствие значительного прогресса в разработке новых конструкций бензиновых ДВС, а также отмеченных выше несовершенств дизельных ДВС малых размеров. Однако следует заметить, что дизельный двигатель нельзя считать бесперспективным для легковых автомобилей. Последние модели дизельных ДВС с турбонаддувом и с электронным управлением впрыском топлива, позволили приблизить вес и габариты дизеля к классическим размерам двигателя для легкового автомобиля, а приемистость и развиваемую мощность — к стандартным требованиям для бензиновых двигателей. Правда, такие дизели имеют сложную конструкцию и требует высококвалифицированного техобслуживания, а также пока еще очень дорого стоят. Но тенденции в эксплуатации автотранспорта таковы, что полную стоимость автомобиля теперь определяют не по первоначальной покупной цене, а по полной стоимости эксплуатации автомобиля, вплоть до его списания. По такому показателю современные дорогостоящие автомобили с бензиновым двигателем уже давно превзошли старые классические модели. Это относится и к легковым автомобилям с новейшими моделями дизельных ДВС (подробно о дизельных двигателях см., например [18]).

ПЕРЕЧЕНЬ ИНОСТРАННЫХ ТЕРМИНОВ

№	Русское название	Английское название	Немецкое название
1.	Автомобиль	Car (motor-car)	Kraftwagen (Auto)
2.	Легковой автомобиль	Passenger car	Personenkraftwagen
3.	Салон автомобиля	Saloon	Fahrgastraum (kabine)
4.	Кузов легкового автомобиля	Body	Karosserie
5.	Двигатель	Engine	Motor
6.	Двигатель внутреннего сгорания (ДВС)	Motor	Verbrennungs Motor
7.	Тип двигателя	Engine code (Type)	[illegible]
8.	Холодный запуск (ДВС)	Cold start	
9.	Прогрев двигателя	Warm-up	
10.	Частичная нагрузка	Part load	
11.	Полная нагрузка	Full load	
12.	Холостой ход	Idling	
13.	Ускорение	Acceleration	
14.	Система топливного питания	Fuel system	Kraftstoffanlage
15.	Бензобак	Fuel tank	Kraftstoffbehälter
16.	Бензопровод	Fuel tubing	Kraftlauf
17.	Обратный [illegible]	Fuel tubing back	Rücklauf
18.	Бензонасос	Fuel pump	Kraftstoffpumpe
19.	Электробензонасос	Electro fuel pump	Elektrokraftstoffpumpe
20.	Карбюратор	Carburetor	Vergaser
21.	Дроссельная заслонка	Throttle valve (throttle)	Drosselklappe
22.	Узел (корпус) дроссельной заслонки	Thottle body	Drosselklappenteil
23.	Жиклер	Jet	Düse
24.	Заслонка воздушная	Air valve	Lüftschieber
25.	Клапан с электромагнитным управлением	Solenoid valve	Elektroventil
26.	Редукционный клапан (стравливающий)	Reducer valve	Aufstoßventil
27.	Педаль газа	Accelerator	Gaspedal
28.	Топливо	Fuel	Kraftstoff
29.	Топливовоздушная смесь (ТВ-смесь)	Airfuelmix	Gemisch
30.	Бедная ТВ-смесь	Lean	Armgemisch
31.	Богатая ТВ-смесь	Rich	Reichgemisch
32.	Расход топлива	Fuel consumption	
33.	Подача топлива	Serve fuel	Zulauf
34.	Впрыск топлива	Fuel injection	
35.	Одноточечный впрыск	Singlepoint injection TBI, Mono	
36.	Многоточечный впрыск	Multipoint injection MP1, MPF1, PF1	
37.	Подпорный накопитель топлива [illegible]		
38.	Регулятор прогрева	Regulator warm-up	Warmlaufregler
39.	Термореле времени	Time thermal [illegible]	[illegible]
40.	Фильтр топливный	Full filter	Kraftstoff-Filter
41.	Фильтр тонкой очистки топлива (ФТОТ)	Secondary fuel filter	Kraftstoff-Feinfilter
42.	Форсунка впрыска	Injector	Einspritzventil
43.	Пусковая форсунка	Startinjector	Kaltstartventil
44.	Распределитель топлива	Fuelrail	Kraftstoffverteiler
45.	Дозатор-распределитель топлива	Fuelrail	Kraftstoffmengenteiler
46.	Давление	Pressure	Druck
47.	Регулятор давления	Pressure regulator	Druckregler
48.	Клапан управления подачей воздуха	Additional idle air control valve	Zusatzluftregler

№	Русское название	Английское название	Немецкое название
49.	Клапан дополнительной подачи воздуха на х.х.	[illegible] (IAC)	[illegible]
50.	Расходомер воздуха		Lufteinlassstelle
51.	Воздушная (парусная) заслонка	Rotametor	Luftströmungsregler
52.	Электрогидравлический задатчик давления	Solenoid pressure regulator	Elektrohydraulischer Drucksteller
53.	Мембранный регулятор давления	Membranepressure regulator	Membrandruckregler
54.	Система охлаждения	Cooling system	Kühlanlage
55.	Воздушный фильтр	Air cleaner	Luftfilter
56.	Система выпуска газов	Exhaust system	Auspuffanlage
57.	Радиатор	Radiator	Kühler
58.	Вентилятор системы охлаждения	Fan	Lüfter
59.	Глушитель	Muffler	[illegible]
59а	Выпускной коллектор	Manifold, Intake	
60.	Приемная труба	Muffler inlet pipes	Sangpuffleitung
61.	Выпускной коллектор (труба)	Muffler outlet pipes	Auspuffleitung
62.	Труба	Pipe	Leitung
63.	Коробка переключения передач	Transmission	Getriebe
64.	Механизм переключения передач	Gearshift mechanism	Getriebeschaltgestänge
65.	Задний мост	Rear axle	Hinterachse
66.	Дифференциал	Differential	
67.	Колеса	Wheels	Räder
68.	Ступицы	Hubs	Radnaben
69.	Шины	Tyre	
70.	Тормоза	Brakes	Bremsen
71.	Главный тормозной цилиндр (ГТЦ)	Brake	Hauptbremszylinder
72.	Трубопровод гидротормозов	Hydraulic brake piping	Rohrleitungen für Hydraulische Bremsen
73.	Гидровакуумный усилитель	Hydraulic vacuum booster	Hydraulikbremsverstärker
74.	Электрооборудование	Electrical equipment	Elektrische Ausrüstung
75.	Система зажигания	Ignition system	Zündanlage
76.	[illegible]	Generator	Lichtmaschine
77.	Реле-регулятор	Regulating relay	Reglerschalter
78.	Аккумуляторная батарея	Storage battery	Batterie
79.	Катушка зажигания	Ignition coil	Zündspule
80.	Распределитель (зажигания)	Distributor	Zündverteiler
81.	Свечи зажигания	Sparkplugs	Zündkerzen
82	Провода зажигания (высоковольтные)	Ignition wires	Zündleitungen
83.	Стартер	Starting motor	Anlasser
84.	Фары	Headlamps	Scheinwerfer
85.	Подфарники	Parking lamps	Standlichter
86.	Электропроводка	Wiring	Elektrische Leitungen
87.	Приборы	Instruments	Instrumente
88.	Панель приборов	Instrumentpanel	Armaturenbrett
89.	Радиооборудование	Radio equipment	Radioausrüstung
90.	Радиоприемник в сборе	Radio receiver assembly	Radiogerät komplett
91.	Ток электрический	Current	Strom
92.	Напряжение электрическое	Voltage	Spannung
93.	Мощность электрическая	Power	Leistung
94.	Сопротивление электрическое	Resistor	Widerstand
95.	Заземление (масса)	Earth (ground)	Masse

Продолжение таблицы

№	Русское название	Английское название	Немецкое название
96.	Искра (электрическая)	Spark	Zünd (Funke)
97.	Реле	Relay	Schalter
98.	Блок реле	Relay module	Schalterblock
99.	Электромагнитная катушка	Solenoid	Spule
100.	Накопитель	Storage	Speicher
101.	Электроприбор	Electroinstrument	Gerät
102.	Делитель	Divider	Teiler
103.	Выключатель (переключатель)	Switch	Schalter
104.	Искровое зажигание	Spark Ignition	Zünd
105.	Предохранитель	Protector	Sicherung
106.	Замок зажигания	Ignition switch (lock)	Zündstartschalter
107.	Разъем электрический	Data	
108.	Разъем диагностический	Data link connector (DLC)	
109.	Контрольная лампа (индикатор неисправности)	Malfunction (indicator lamp)	
110.	Датчик	Sensor	Fühler
111.	Датчик давления	Pick-up	Geber
112.	Технические характеристики	Specifications	Daten
113.	Химическое вещество		Stoff
114.	Бензин	Petrol	Benzin
115.	Моторное топливо	Fuel	Kraftstoff
116.	Газ сжиженный	Gas	Gas
117.	Моторное масло	Oil	Öle
118.	Охлаждающая жидкость	Liquid refrigerant	
119.	Воздух	Air	Luft
120.	Свет	Light	Licht
121.	Камера (бачок)	Chamber	
122.	Клапан	Valve	Ventil
123.	Вход	Input	Ein
124.	Выход	Output	Aus
125.	Передний	Front	Vord
126.	Задний	Rear	Hinter
127.	Верхний	Upper	Ober
128.	Главный	Master (Basik)	Haupt
129.	Деталь	Part	Teile
130.	Узел	Unit	Teilgruppen
131.	Сигнал тревоги	Alarm	Alarm
132.	Замок	Lock	Schloß
133.	Защитный корпус	Case	Block
134.	Ручка	Griff	Haudle
135.	Кнопка	Button	Knopf
136.	Гидравлический узел	Hydraulic unit	Hydraulisch Knoten
137.	Заглушка	Plug	Stopfe
138.	Панель	Panel (cluster)	Tafel

Список литературы

1. ***Банников С.П.*** Электрооборудование автомобилей. М.: Транспорт, 1977, 288 с.
2. ***Ютт В.Е.*** Электрооборудование автомобилей. М.: Транспорт, 2000, 320 с.
3. ***Чижков Ю.П., Акимов С.В.*** Электрооборудование автомобилей. М.: "За рулем", 1999, 384 с.
4. ***Соснин Д.А.*** Фотоэлектрические устройства для определения степени загрязнения передних фар и другого наружного светотехнического оборудования //Сборник трудов /МАДИ, 1981, 17 с.
5. ***Боровских Ю.И., Старостин А.К., Чижков Ю.П.*** Стартерные аккумуляторные батареи. М.: Фонд ЭГ, 1997,157 с.
6. ***Акимов А.В., Акимов С.В., Лейкин Л.П.*** Генераторы зарубежных автомобилей. М.: "За рулем", 1997, 79 с.
7. Автомобильный справочник. BOSCH (ФРГ) /Перевод с англ. М.: "За рулем", 2000, 896 с.
8. Серия пособий для самообучения /Синие тетради АО "Фольксваген" М.: МЦНТИ, 1987.
9. ***Спинов А.Р.*** Системы впрыска бензиновых двигателей. М.: Машиностроение, 1995, 108 с.
10. ***Росс Твег.*** Системы впрыска бензина. М.: "За рулем", 1998, 143 с.
11. ***Соснин Д.А., Колесниченко В.Н.*** Теоретические аспекты современных электронных систем зажигания для двигателей внутреннего сгорания //Сборник трудов МАДИ/ 1981, 34 с.
12. Руководство по ремонту автомобиля ГАЗ-3110 "Волга" /Ашмаров А. А. и др. — М.: Третий Рим, 1999, 168 с.
13. ***Зверев Д.Н.*** Автомобильные стробоскопические приборы СТБ-1 и "Авто-искра" //Ремонт и Сервис, 2000, № 1, 48 с.
14. Reparatur anleitung. Audi-100. Querschnitt durch die Motor-Technik. Verlag Bucheli-ZUG, 1983, 198 с.
15. Электронные системы управления и контроля строительных и дорожных машин / В.М. Амелин, Ю.М. Иньков, В.И. Марсов и др. Под ред. Б.И. Петленко. М.: Интекс, 1998, 382 с.
16. ***Соснин Д.А.*** Автомобильный электробензонасос: устройство, принцип действия и ремонт //Ремонт и Сервис, 1998, № 3, 51 с.
17. Двигатели внутреннего сгорания. Теория рабочих процессов (том I) / В.Н. Луканин, К.А. Морозов, А.С. Хачиян и др. Под ред. В.Н. Луканина. М.: Высшая школа, 1995, 369 с.
18. Двигатели внутреннего сгорания. Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей/В.П. Алексеев, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин и др. Под ред. А.С. Орлина и М.Г. Круглова. М.: Машиностроение, 1980, 288 с.
19. ***А. Уилсон, М. Уилсон.*** Информация, вычислительные машины и проектирование систем. М.: Мир, 1968, 416 с.
20. ***М. Мазур.*** Качественная теория информации. М.: Мир, 1974, 239 с.
21. ***Архангельский В.М. и др.*** Автомобильные двигатели. М.: Машиностроение, 1967, 536 с.

Содержание

Учебное пособие

Соснин Дмитрий Александрович

АВТОТРОНИКА

(Электрооборудование и системы бортовой автоматики
современных легковых автомобилей)

Ответственный за выпуск С. Иванов
Компьютерная верстка О. Ушакова
Компьютерный набор текста Н. Маякова
Дизайн обложки Е. Жбанов
Компьютерная графика ООО Изд-во "СОЛОН-Р"

ООО Издательство "СОЛОН-Р"
ЛР №066584 от 14.05.99
Москва, ул. Тверская, д. 10 стр. 1 ком. 522
Формат 70x100/16. Обьем 17 п.л. Тираж 10000
ГУП, Чеховский полиграфический комбинат
г.Чехов, Моск. обл.
Заказ 4750